UNIVERSITÉ DE BORDEAUX
FACULTÉ DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE

Année 1950-1951 — N° 57

Le Froid Artificiel
Conditions de travail et pathologie professionnelle dans l'Industrie du Froid

(Enquête régionale)

THÈSE POUR LE DOCTORAT EN MÉDECINE

présentée et soutenue publiquement le Lundi 28 Mai 1951

par

Robert GLACHET

né le 27 Avril 1925 à Bordeaux

Examinateurs de la Thèse : MM. DERVILLÉE, professeur, *Président* ; CREYX, professeur ; CASTAGNOU, professeur ; L'ÉPÉE, agrégé — *Juges*

BORDEAUX
IMPRIMERIE SAMMARCELLI FRÈRES
80 bis, Cours de l'Argonne

1951

GLACHET (Robert)

Le Froid artificiel. Conditions de travail et pathologie professionnelle dans l'industrie du froid. (Enquête régionale). — Bordeaux, impr. Sammarcelli frères, 1950. In-8°. 86 p., fig.

(*Thèse de médecine. Bordeaux. 1950-1951. N° 57.*)

GLACHET (Robert)

Le Froid artificiel. Conditions de travail et pathologie professionnelle dans l'industrie du froid. (Enquête régionale). — Bordeaux, impr. Sammarcelli frères, 1950. In-8°. 86 p., fig.

(*Thèse de médecine. Bordeaux. 1950-1951. N° 57.*)

GLACHET (Robert)

Le Froid artificiel. Conditions de travail et pathologie professionnelle dans l'industrie du froid. (Enquête régionale). — Bordeaux, impr. Sammarcelli frères, 1950. In-8°. 86 p., fig.

(*Thèse de médecine. Bordeaux. 1950-1951. N° 57.*)

GLACHET (Robert)

Le Froid artificiel. Conditions de travail et pathologie professionnelle dans l'industrie du froid. (Enquête régionale). — Bordeaux, impr. Sammarcelli frères, 1950. In-8°. 86 p., fig.

(*Thèse de médecine. Bordeaux. 1950-1951. N° 57.*)

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41538106_0056

UNIVERSITÉ DE BORDEAUX
FACULTÉ DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE

Année 1950-1951 — N° 57

Le Froid Artificiel
Conditions de travail et pathologie professionnelle dans l'Industrie du Froid

(Enquête régionale)

THÈSE POUR LE DOCTORAT EN MÉDECINE

présentée et soutenue publiquement le Lundi 28 Mai 1951

par

Robert GLACHET

né le 27 Avril 1925 à Bordeaux

Examinateurs de la Thèse { MM. DERVILLÉE, professeur, *Président*
CREYX, professeur
CASTAGNOU, professeur } *Juges*
L'ÉPÉE, agrégé

BORDEAUX
IMPRIMERIE SAMMARCELLI FRÈRES
80 bis, Cours de l'Argonne

1951

FACULTÉ DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE DE BORDEAUX

DOYEN HONORAIRE : M. DUPÉRIÉ.

DOYEN : M. PORTMANN. — **ASSESSEUR** : M. CHELLE

PROFESSEURS HONORAIRES :

MM. A. MANDOUL, PETGES, GUYOT, ANDÉRODIAS, ROCHER, LANDE, DUVERGEY, CARLES, LEURET, PÉRY, LABAT, CHARRIER, DUBREUIL, MACHEBŒUF

PROFESSEURS :

	MM.
Clinique médicale	DUPÉRIÉ CREYX
Clinique chirurgicale	PAPIN MASSÉ
Clinique d'accouchements.	RIVIÈRE
Clinique gynécologique...	MAGENDIE
Anatomie pathologique et microscopie clinique	DE GRAILLY
Anatomie	VILLEMIN
Anatomie générale et histologie	MAYER
Hygiène et Clinique de la tuberculose	PIÉCHAUD
Médecine légale et médecine du travail	DERVILLÉE
Electroradiologie et Clinique d'électricité médicale	REBOUL
Chimie	CHELLE
Matière médicale	GOLSE
Pharmacie	VITTE
Physiologie	FABRE
Clinique médicale des maladies des enfants.	FONTAN
Zoologie et parasitologie.	SIGALAS

	MM.
Médecine expérimentale..	AUBERTIN
Clinique ophtalmologique.	BEAUVIEUX
Clinique chirurgicale infantile et orthopédie....	LOUBAT
Clinique des maladies infectieuses	N...
Chimie biologique et médicale	TAYEAU
Physique médicale et pharmaceutique	PIFFAULT
Médecine coloniale et Clinique des maladies exotiques	BONNIN
Clinique des maladies cutanées et syphilitiques. .	JOULIA
Clinique des maladies des voies urinaires.	DARGET
Clinique des maladiss nerveuses et mentales	DELMAS-MARSALET
Clinique d'oto-rhino-laryngologie	PORTMANN
Toxicologie et hygiène appliquée	CASTAGNOU
Clinique odonto-stomatologique	DUBECQ
Botanique et cryptogamie.	GIRARD
Thérapeutique	BROUSTET

PROFESSEURS SANS CHAIRE :

MM. PERRENS (Maladies mentales), DUFOUR (Anatomie), MESNARD (Pharmacie), BLANQUET (Physique pharmaceutique)

MAITRES DE CONFÉRENCES AGRÉGÉS :

	MM.
Parasitologie	PAUTRIZEL
Physiologie	Mlle ROUGIER
Bactériologie	MOUSTARDIER

	MM.
Pharmacie (1re section)..	R. GOLSE
Pharmacie (2e section)...	MASQUELIER
Pharmacie (3e section)....	CAZAUX

AGRÉGÉS EN EXERCICE :

	MM.
Médecine générale	SARIC DUBARRY F.-J. TRAISSAC BERGOUIGNAN LENG-LEVY
Chirurgie générale	POUYANNE LAUMONIER CHAVANNAZ
Chimie biologique	N...
Obstétrique	MAHON CHASTRUSSE

	MM.
Ophtalmologie	BESSIERE
Oto-rhino-laryngologie....	DESPONS
Dermatologie et syphiligraphie	LE COULANT
Histologie	N...
Pédiatrie et puériculture.	VERGER
Médecine légale et médecine du travail	L'ÉPÉE
Electro-radiologie	LACHAPÈLE
Odonto-stomatologie	MARONNEAUD
Urologie	LANGE

COURS COMPLÉMENTAIRES :

	MM.
Médecine opératoire	DUFOUR
Accouchements	CHASTRUSSE
Puériculture	VERGER
Législation pharmaceutique	POPLAWSKI COUSTOU
Anatomie	RIGAUD
Chimie minérale	BABIN
Cryptogamie	LAUBIE

	MM.
Pharmacie galénique	MESNARD
Organographie et physiologie végétale	TEMPÈRE
Chimie biologique	NEUZIL
Pathologie chirurgicale	LAUMONIER VILLAR
Zoologie pharmaceutique..	BAILENGER
Hydrologie pharmaceutique	CAZAUX

Le Secrétaire de la Faculté : ROUGERIE.

Par délibération du 5 août 1879, la Faculté a arrêté que les opinions émises dans les Thèses qui lui sont présentées doivent être considérées comme propres à leurs auteurs, et qu'elle entend ne leur donner ni approbation ni improbation.

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

A MON PERE ET A MA MERE

Faible témoignage de mon immense affection.

A MA GRAND-MERE

A TOUS LES MIENS

A TOUS MES AMIS

A MES MAITRES DE LA FACULTE

ET DES HOPITAUX

A MONSIEUR LE PROFESSEUR AGREGE L'EPEE

Professeur agrégé de Médecine légale et de Médecine du Travail

Médecin assistant dermato-vénéréologiste des Hôpitaux

qui a bien voulu s'intéresser à notre travail ; en reconnaissance de ses conseils éclairés.

A MONSIEUR LE PROFESSEUR CASTAGNOU

Professeur de toxicologie et hygiène appliquée

Pharmacien des Hôpitaux psychiatriques

Hommage respectueux.

A MONSIEUR LE PROFESSEUR CREYX

Professeur de Clinique Médicale

Médecin des Hôpitaux

Officier de la Légion d'Honneur

Croix de Guerre

Officier de l'Instruction Publique

En remerciement de l'honneur qu'il nous fait en acceptant de siéger parmi le jury de notre thèse.

A NOTRE PRESIDENT DE THESE

MONSIEUR LE PROFESSEUR DERVILLEE

Professeur de Médecine légale et de Médecine du Travail
Membre de la Commission internationale permanente
pour la Médecine du Travail
Chevalier de la Légion d'Honneur
Officier de l'Instruction Publique

Mon cher Maître,
Vous nous faites le très grand honneur de présider notre jury de thèse. En reconnaissance de votre enseignement, nous vous présentons nos sentiments de respectueuse gratitude.

INTRODUCTION

Depuis longtemps déjà, l'homme, apprenti sorcier, manie un des phénomènes de la nature : le feu. Il l'a dominé, emprisonné, apprivoisé, pour son agrément. L'étincelle jaillie du silex de nos pères fait gronder aujourd'hui les hauts fourneaux. Inlassable, notre chercheur a mis plus longtemps pour asservir une autre manifestation naturelle : le froid. De nos jours, celui-ci est dosé, canalisé, empaqueté. Et nos aïeux seraient stupéfaits de déguster une crème glacée malgré une chaleur torride. Jusqu'alors, le froid évoquait l'hiver, la tristesse, l'aridité. Maintenant, il ne faut plus le maudire, car il apporte avantages et plaisirs nouveaux.

Ainsi, comme toutes les créations du cerveau humain, le froid a passé du stade d'expérience de laboratoire à celui du machinisme. Il devient un auxiliaire puissant, mais du fait de cette puissance même, il risque d'outrepasser son rôle et de devenir dangereux. L'évolution sociale actuelle et l'industrialisation du travail, met le travailleur dans des conditions telles qu'une surveillance plus poussée de sa santé corporelle doit être effectuée. C'est là le but éminemment noble de la Médecine du Travail et sa fin principale n'est-elle pas de préserver l'homme dans son labeur et de le conserver intact à la Société ?

Nous nous proposons ici de décrire les conditions de travail

dans l'Industrie du Froid, d'étudier les diverses maladies ou accidents auxquels sont exposés ses ouvriers. Nous essaierons d'en tirer quelques conclusions au point de vue de la prévention.

D'aucuns pourront s'étonner de trouver au début de notre modeste exposé des explications techniques d'ailleurs sommaires, mais nous croyons utile d'expliquer les méthodes de fabrication du froid pour une meilleure compréhension des paragraphes suivants. C'est pourquoi nous abordons ce problème extra-médical sans avoir trop peur de profaner un sujet interdit. A un très bref historique, fait suite une première partie où nous envisageons le froid artificiel dans un sens général (applications, technique). Dans une deuxième partie, nous étudions l'Industrie du Froid sous les angles de la physiologie, de la pathologie et de la prévention.

HISTORIQUE

Le froid artificiel, et partant, le froid industriel, est le nom sous lequel on désigne l'ensemble des procédés divers qui permettent d'abaisser la température d'un corps quel qu'il soit : enceinte, substance, denrée. L'utilisation pratique du froid et sa production industrielle sont des faits récents dans l'histoire de l'humanité, faits qui datent au plus de la fin du siècle dernier.

Il est classique de prétendre que le Français Charles Tellier est le « Père du Froid ». Nous nous permettons de faire remarquer que le véritable inventeur du froid dans ses utilisations est... Adam, le premier homme.

Voici le fait : Chassé du paradis après le péché originel, Adam dut subvenir à son existence et s'attaquer aux monstres préhistoriques. Ne possédant pas d'arme à longue portée, il se munit d'un pieu et fut ainsi dans l'obligation de s'approcher du terrible ours des cavernes. Afin que sa présence ne fut pas révélée trop tôt par l'odorat subtil de la bête, il se renseigna sur la direction du vent. Pour cela, il humecta son index et l'exposa à l'air. Le vent, frappant le doigt, provoqua une dépression sur une de ses faces et évaporant le liquide, une sensation de froid s'ensuivit. La première application du froid était née.

Caton l'Ancien, dans son traité « De Agri Cultura », préco-

nisa d'orienter au Nord les locaux destinés à la conservation des fruits.

Au Moyen-Age, les grands seigneurs disposèrent de glace pendant tout l'été ! Dans les pays nordiques ou suffisamment septentrionaux pour que l'eau des étangs ou des rivières fut gelée en hiver, de gros blocs de glace étaient prélevés durant cette saison. Cette glace était déposée dans de grandes fosses en entonnoir, tapissées de rondins de bois, eux-mêmes entrelacés d'osier. Le tout était recouvert avec d'autres rondins. Ce genre d'entrepôt était situé dans d'épaisses forêts de sapins.

Outre Charles Tellier (1828-1913), qui eut l'idée d'appliquer le froid à la conservation des denrées alimentaires susceptibles de se corrompre à la température ordinaire, citons les noms de Cailletet, de d'Arsonval, de C. Vincent, d'Audiffren, de Ferdinand Carré qui fut le premier, en 1867, à produire artificiellement de la glace.

En 1920, l'Institut du Froid fut créé.

L'Industrie du Froid est en constant développement et celui-ci est en rapport avec les progrès de la physique et de la chimie. En Europe, les laboratoires de recherches prouvent qu'on s'intéresse de plus en plus aux problèmes du Froid : ceux de Charlottenburg (Allemagne), Bellevue (France), Cambridge (Grande-Bretagne), Leyde (Pays-Bas) en sont les plus notables.

Tous les grands pays du monde sont dotés d'une puissante et moderne organisation du froid artificiel et l'économie de certains (Argentine, Australie, Nouvelle-Zélande) est influencée par lui d'une manière importante.

Le Froid artificiel

Les très nombreuses possibilités du Froid artificiel en ont fait un outil merveilleux dans ses fins et dans ses moyens. dans ses fins par les problèmes multiples qu'il résout ; dans ses moyens par les diverses techniques qui tendent de plus en plus à s'améliorer. Nous présentons les uns et les autres et terminons par quelques chiffres mesurant l'ampleur de l'Industrie du Froid en France et dans le monde. Munis de ces notions élémentaires, nous serons en mesure d'étudier les questions médico-sociales de cette industrie.

A) APPLICATIONS

L'Industrie du Froid, bien que récemment développée dans notre siècle de progrès techniques, possède déjà maintes applications. Il ne faut pas croire qu'elle se borne à la fabrication de la glace ou à la conservation des denrées alimentaires. Outre ces utilisations principales, nous en signalons auparavant quelques-unes plus ignorées.

I. — DOMAINE DE L'INDUSTRIE

La part du froid y est importante.

La congélation de certains terrains aquifères est faite dans le but de les solidifier pour y pratiquer des forages. Le Métropolitain sous la Seine, a été ainsi réalisé. De même, dans le bassin de Lorraine, certains filons de charbon ont été atteints malgré l'interposition de nappes d'eau abondantes.

On effectue le refroidissement de dépôts d'explosifs ne devant pas dépasser une certaine température dans les navires de guerre, ainsi que celui de grosses machines telles que d'importantes électro-génératrices.

La contraction des pièces de machines par le froid est réalisée par circulation de saumure réfrigérée ou par carboglace. Ainsi sont insérées les chemises de cylindres de moteur à explosion. La chemise cylindrique est portée à — 65° centigrades (lorsqu'on utilise la carboglace) et peut être introduite à la main dans le cylindre. La contraction est d'environ 1/1000e des dimensions linéaires des pièces en acier.

Le caoutchouc crêpe servant à l'insonorisation des avions est refroidi par la glace carbonique pour être découpé de façon plus précise.

Des industries aéronautiques empêchent le vieillissement du duralumin par la carboglace. Les alliages d'aluminium se durcissent, en effet, avec le temps. Pour retarder ce processus et prolonger la période durant laquelle ils peuvent être usinés, le duralumin est refroidi par glace sèche aussitôt après le traitement à chaud et la trempe (expérience de la Boeing Airplane Company sur des rivets).

Certains produits chimiques ou pharmaceutiques sont purifiés par cristallisation entre — 80°C. et — 100°C.).

Le froid artificiel est utilisé aussi pour le conditionnement de l'atmosphère des grands locaux (salles d'hôpitaux, théâtres, cinémas, etc), dans la chocolaterie, pour le démoulage par le froid ; dans la fabrication de la bière pour régler la fermentation en refroidissant le moût houblonné ; pour le dessèchement de certains produits (par exemple la solidification des huiles) ; pour réaliser un meilleur dessucrage de la mélasse dans les sucreries.

II. — APPLICATIONS MEDICALES

Comment ignorer le rôle du froid en médecine. Son action est double :

1° Il évite la décomposition des tissus morts ;

2° Sur les tissus vivants et non séparés, il déclenche une vasodilatation favorable au traitement d'accidents très variés.

1° La première propriété permet la conservation des greffes animales (une cornée en vue d'être greffée doit être maintenue à 0° jusqu'au moment de l'opération), celle des sérums et du plasma sanguin (pour les transfusions), de certains vaccins (antivariolique). Elle permet aussi la préparation de la pénicilline (réfrigération à — 50°C., conservation à une température inférieure à + 5°C.).

2° Dans le second cas, il devient une méthode thérapeutique. C'est la cryothérapie. L'action de la glace dans les affections inflammatoires de la région abdominale est connue de tous.

Signalons encore :

— *Le traitement du choc* : A la suite d'écrasement ou d'autre grave blessure, l'expérience montre que le refroidissement, réduisant les demandes métaboliques, est préférable au réchauffement qui augmente la mortalité.

— *Le traitement de l'accident grave* : La réfrigération permet au malade de récupérer en retardant l'opération chirurgicale. Le froid a là d'autres avantages : il réduit la douleur (on enveloppe par exemple le moignon du membre sectionné avec de la glace) et provoque ainsi au moment de l'intervention une anesthésie supplémentaire.

— *Le traitement des gangrènes* : Le froid, par son pouvoir antitoxique et anti-infectieux arrête une gangrène et permet des amputations plus économiques.

— *Les gelures* et blessures dues au froid peuvent être traitées par le froid. Des surfaces cutanées ou des pieds gelés sont refroidis modérément (15 à 21°C) pendant parfois plusieurs semaines.

— *Dans les brûlures,* le froid soulage la douleur, le choc, l'infection, la nécrose et l'intoxication.

— *En dermatologie,* l'évaporation de l'anhydride carbonique produit un froid pour détruire angiomes, verrues ou autres tumeurs cutanées. Certains cancers cutanés sont guéris rapidement par la cryothérapie. Des améliorations sont constatées chez d'autres cancéreux soumis pendant cinq jours à des applications de compresses d'eau glacée provoquant chez eux une hypothermie de 33° environ.

— Le froid trouve également son emploi en *médecine légale.* A ce propos, le Professeur Simonin, de Strasbourg, emploie le terme original de « Clinique mortuaire », faisant allusion à

la façon moderne dont doivent être équipés les Instituts médico-légaux. Il faut que, le cas échéant, des prélèvements puissent y être pratiqués, prélèvements qui sont à l'heure actuelle, indispensables pour certaines interventions thérapeutiques (greffes cornéennes, greffes osseuses, etc.). Le décret du 20 octobre 1947 autorise ces prélèvements. C'est pour cela que les victimes d'accidents doivent être placées dans les meilleures conditions de conservation (18). Le froid est tout indiqué pour ce but.

D'autre part, les interventions judiciaires qui doivent être effectuées sur certains des cadavres déposés dans les Instituts médico-légaux, se trouvent grandement facilitées par le bon état de la conservation des corps.

A Bordeaux, l'Institut de Médecine légale, sous la direction de M. le Professeur DERVILLÉE, vient d'être muni d'un équipement frigorifique moderne. Dans une salle blanche et carrelée, se trouvent trois chambres froides individuelles et une chambre froide collective pouvant contenir trois corps. La température qui est aux environs de + 2°C dans les chambres individuelles peut s'abaisser jusqu'à — 6°C dans la chambre collective où seront placés de préférence les cadavres dont l'état de putréfaction est déjà assez avancé au moment du transport à l'Institut médico-légal (cadavres de noyés, par exemple).

Un évaporateur dans chaque chambre refroidit l'atmosphère brassée par un ventilateur. Le reste du circuit (moteurs électriques, compresseurs, condenseurs), est placé dans une cave au-dessous des chambres froides. Le réglage est automatique, l'entretien facile, le nettoyage simplifié.

Cette conservation des corps permet aussi une présentation décente et correcte aux familles.

III. — DOMAINE DE L'AGRICULTURE

La montée de la sève est retardée en conservant les plantes à une température de + 2°C environ : oignons, bulbes de fleurs sont ainsi mis en réserve.

Le rendement des semences de céréales est amélioré par vernalisation c'est-à-dire le séjour en chambre froide à + 3°C pendant un mois après commencement de germination. De cette manière, les variétés de blé d'automne à rendement supérieur peuvent être semées au printemps.

Pour le même but, les pommes de terre sont déposées deux mois en chambre froide.

IV.— SECTEUR DE L'ALIMENTATION

Il est évident que le grand domaine du froid est celui de l'alimentation.

1° *Résultats de l'intervention frigorifique* : Là, l'Industrie du Froid a pour but de conserver des denrées périssables à basse température en vue de leur consommation à longue échéance. Elle permet (21) :

— la diminution du déchet des produits alimentaires qui s'altèrent en accomplissant un long trajet du producteur au consommateur. En France, on compte globalement entre 10 et 20 % de pertes. Elles sont plus sensibles pour le lait (10 %), le poisson (20 %) et les fruits ;

— la stabilisation du marché et l'accroissement de la production par deux moyens. D'abord en étalant les pointes de production (on pratique un certain équilibre dans l'alimentation d'une population en stockant lors d'une production abondante et en distribuant pendant une période de stérilité). De ce fait le producteur envisage sans crainte une augmentation de son rendement. Ensuite, en traitant semences et plants par le froid, comme nous l'avons vu plus haut ;

— l'amélioration de la qualité des produits tels que le lait, le beurre, le fromage (ces deux denrées deviennent plus fermes), les poissons, la viande, les légumes et les fruits (traités par le froid, ils ne sont pas flétris) ;

— l'augmentation des exportations grâce à une plus grande production et au transport frigorifique.

2° *Modes d'utilisation* : Deux degrés dans cette conservation des aliments :

— la réfrigération (température maintenue entre 0 et + 3°C) ralentit les fermentations (conservation de quelques semaines au maximum) ;

— la congélation se pratique au-dessous de 0°C (— 20°C et plus) pour conserver à longue échéance (nous avons vu dans les Entrepôts frigorifiques de Bordeaux, des viandes stockées ainsi depuis plus de un an).

3° *Chaîne du froid* : Elle a pour but de maintenir la denrée, depuis le moment où elle est périssable jusqu'à sa consommation à une température suffisamment basse pour empêcher la fermentation ou la putréfaction. Cette chaîne doit être ininterrompue. En effet, le froid ne tue pas les divers micro-organismes contenus dans les aliments. Certaines spores sont très résistantes. Ces microbes sont seulement plongés dans un état de vie latente qui les paralyse et empêche leur multiplication. On doit partir d'une denrée de qualité irréprochable.

Prenons le cas de la viande. Les animaux amenés aux abattoirs sont tués et préparés pour la vente. Ils sont entreposés aussitôt dans les chambres froides : nous avons ainsi le *maillon production*. Si cette viande est transportée à des centaines de kilomètres du lieu d'abattage, les wagons frigorifiques sont dirigés au seuil des chambres froides et la marchandise sans se réchauffer va pouvoir atteindre le lieu désigné : *le maillon transport* est réalisé. La viande est alors mise en attente dans une autre chambre froide : c'est *le maillon entrepôt*. Nous arrivons enfin au *maillon distribution* car le boucher qui débite les escalopes à ses clients conserve la denrée dans une armoire frigorifique. Il n'est pas exclu d'ailleurs que le consommateur possède une glacière. Théoriquement, si les interruptions entre les maillons sont courtes, l'aliment doit arriver intact dans la bouche du gourmet.

4° *Quelques exemples de denrées conservées par le froid :*

— La viande est une des plus importantes, bien qu'en France la plus grande partie se consomme fraîche.

La réfrigération porte la viande à une température de + 6° à 0°C. A + 6°C elle se conserve quarante-huit heures. A 0°C le délai est porté à un mois. La congélation (— 20 à — 30°C) réalisée dans les abattoirs est usitée pour des conservations de plus de un mois. Un procédé nouveau consiste à désosser et débiter la marchandise en fragments plus réduits. Les avantages en sont nombreux : augmentation de capacité des établissements frigorifiques ; facilité de manutention et de transport ; récupération des os, déchets tendineux et musculaires ; amélioration des qualités d'hygiène (la viande ainsi débitée est mise en caisse à l'abri de toute souillure extérieure).

Les recherches sont de plus en plus poussées dans le sens de la *congélation ultra-rapide* (pratiquée dans des tunnels où l'air est refroidi à — 40°C et soufflé à des vitesses de l'ordre de 3 mètres par seconde). La denrée est portée très rapidement à — 30°C environ, jusqu'en sa profondeur, puis entreposée en chambre froide. L'humidité des cellules ainsi traitées est transformée en d'imperceptibles cristaux qui restent à l'état de division organique normal. Au contraire, dans la congélation lente, de gros cristaux déchirent les tissus cellulaires. De plus, par la rapidité du processus, les diverses qualités (fraîcheur, saveur, vitamines) sont fixées et se retrouvent intactes à la décongélation. La congélation ultra-rapide porte sur la viande, mais aussi sur les fruits et légumes, et même, à l'étranger, sur les plats cuisinés, après cuisson.

La conservation de la viande par le froid est indéfinie, témoin ce mammouth retrouvé en 1804 à l'embouchure de la Léna, en Sibérie et dont la chair servit à nourrir les chiens.

— Le lait est un autre produit susceptible d'une altération très rapide. En quelques heures, le nombre des germes s'y multiplie

et cela d'autant plus que la température est élevée. C'est pourquoi le lait est réfrigéré le plus rapidement possible.

Examinons par exemple le cas du lait traité à Bordeaux par les Services municipaux. Le lait est collecté par camion très tôt le matin dans les campagnes. Il est amené alors au centre de traitement et mis aussitôt dans un grand bac où l'on étudie son acidité. Puis il est pasteurisé, c'est-à-dire porté à une température de 75 à 80°C pendant une à deux minutes. Le lait est alors réfrigéré rapidement et il tombe brusquement à + 2°C. Il est ensuite mis en bouteilles et entreposé en armoire frigorifique durant vingt-quatre heures, enfin livré à la consommation. Pendant toutes ces opérations, il passe par des tuyauteries très propres, ce qui évite toute manipulation septique. A Bordeaux, le centre de traitement utilise deux liquides frigorigènes : l'ammoniaque (pour le refroidissement du lait) et le chlorure de méthyle (pour la chambre froide).

L'idéal serait de réfrigérer le lait à la ferme, puis de le transporter à l'usine de traitement par camions-citernes réfrigérants (peu nombreux en France) ou wagons isothermes amovibles. De même, la livraison à domicile par camions réfrigérés serait la meilleure solution. Enfin, le particulier le placerait dans son armoire frigorifique, malheureusement assez onéreuse pour le Français moyen.

— Le système de la réfrigération est également appliqué dans le secteur fruits et légumes et c'est là que l'ingénieur frigoriste peut donner pleine mesure de son talent. Il y est soumis à rude épreuve et doit effectuer un véritable travail d'artiste.

Le degré hygrométrique et la température sont bien déterminés et diffèrent pour chaque fruit, chaque légume et même chaque espèce de fruit ou légume. Le fruit mûr est réfrigéré de manière à arrêter la fermentation qui le transformerait en une matière molle immangeable. Dans les vingt-quatre heures qui suivent la cueillette, fruits et légumes sont portés à la température de + 4°C environ. Les fruits à noyaux ne se conservent

que quelques semaines, les poires et les pommes peuvent se conserver six à sept mois. On a aussi essayé de congeler des fruits, mais ceux-ci doivent être consommés aussitôt après leur décongélation. Nous parlons plus loin de l'utilisation et des avantages de la glace carbonique dans ce secteur, développé surtout dans la région du Rhône.

— Il reste à citer dans notre énumération d'autres applications telles que conservation du poisson, des œufs.

Le poisson est conservé le plus souvent par la glace hydrique (21). Celle-ci se trouve sur les bateaux de pêche (réfrigération immédiate du poisson péché), et est fournie aux expéditeurs (caissettes contenant de la glace concassée, camions et wagons réfrigérés). De nombreux ports de pêche (Boulogne, Dieppe, Lorient, La Rochelle) partent de véritables « trains de marée ». La congélation plus rationnelle est aussi plus rare : le poisson est congelé sur le bateau même (muni de machines frigorifiques). Deux bateaux étaient équipés de cette manière avant 1939 : le « Vivagel » et le « Pescagel » (bateaux pêcheurs et congélateurs). D'autres sont des bateaux-usines non pêcheurs (par exemple le bateau américain « Pacific Explorer »).

Les œufs simplement réfrigérés peuvent être conservés pendant huit à neuf mois. On les congèle à — 20°C. environ, mais sans leur coquille (ils durent plus longtemps et sont utilisés dans ce cas par les pâtisseries et biscuiteries).

Il est courant de laisser reposer et vieillir les vins à une température voisine de 0°C.

V. — GLACE

Deux sortes de glace sont fabriquées : la glace hydrique, la glace carbonique.

1° *Glace hydrique* : Qui n'a vu dans les rues de Bordeaux, ces archaïques voitures à cheval, circulant dans tous les quartiers et distribuant çà et là des blocs de glace par l'intermédiaire

d'un livreur protégeant son bras avec une toile de sac. Ces pains de glace en forme de parallélépipède servent aux glacières des commerçants, restaurants, cafés et aux particuliers, pour servir le maillon distribution de la chaîne du froid.

En France (21), 450 usines fabriquent la glace. Leur production est de 10.000 tonnes par jour pendant l'été et de un million de tonnes par an.

2° *Glace carbonique* ou glace sèche ou carboglace ou dry-ice. Elle est moins connue et pour cette raison nous en parlons plus longuement.

Il n'existe en France que 10 usines de glace sèche. Elle est livrée sous forme de pains de 5 à 10 kgs emballés dans du carton constituant avec le gaz dégagé une isolation satisfaisante pour un transport de faible durée. Par ses qualités, elle supplante la glace hydrique :

a) Elle n'entraîne pas d'humidité ni de résidu ;

b) A poids égal, elle absorbe deux fois et demi plus de calories que la glace d'eau ;

c) Elle permet des emballages légers ;

d) Elle procure rapidement 15 à 20°C au-dessous de zéro ;

e) Elle se débite très facilement avec une scie à main.

Dans l'énumération de ses applications, nous pouvons évaluer son importance.

— Alimentation : La carboglace s'emploie pour les expéditions de volailles et gibiers. On a calculé que pour une expédition de trente poulets, par exemple, le poids brut est de 50 à 55 kgs environ avec l'emballage en carton. La glace sèche est placée sur un plateau au-dessus des volailles et s'évapore lentement sans résidu si la caisse de carton est fermée avec du papier gommé. Il faut environ 4 kgs de glace pour 30 poulets.

La glace carbonique détient une qualité pour la conservation des denrées périssables : lorsque celles-ci sont soumises à la glace sèche, elles se trouvent placées dans une atmosphère d'acide carbonique qui empêche le développement des bactéries et

moisissures (la conservation des pommes est aussi efficace dans une atmosphère de CO^2 à + 8°C que dans une atmosphère d'air refroidi à + 1°C). Les bananes supportent sans altération ni modification de leur saveur 35 % de CO^2 dans l'atmosphère ambiante, les agrumes peuvent supporter 64 %. Quant aux poires et aux pommes, il ne faut pas dépasser 2 à 5 %. Les fleurs profitent aussi de l'apport en CO^2 en vue de prolonger leur conservation (les meilleurs résultats sont obtenus entre + 3 et + 10°C avec une dose de 15 % d'anhydride carbonique dans l'air).

De même, viandes et poissons profitent de cette propriété. Lorsque les œufs sont entreposés dans une atmosphère de CO^2 l'acidité de leur blanc est abaissée ce qui retarde l'action des ferments lors du vieillissement de ces œufs. De plus l'absence de grandes quantités d'oxygène empêche presque complètement son action sur les matières grasses (jaune de l'œuf).

— Les laboratoires se servent de la carboglace pour les refroidissements rapides. La congélation des coupes pour examen au microscope peut se faire par carboglace.

— Le nettoyage des puits se réalise d'une façon moderne par la glace sèche. Le puits est fermé et on y laisse tomber de la glace carbonique. Par sa fusion et son évaporation, la pression s'élève à l'intérieur du puits et déloge les obstructions qui se trouvent sur le passage de l'eau. Il peut y avoir un effet annexe par dissolution des dépôts calcaires.

— L'acide carbonique solide est quelquefois employé pour congeler des tuyauteries sur lesquelles il y a une fuite lorsqu'il n'existe pas d'autre moyen d'arrêter l'écoulement.

Prenons le cas de la fuite d'un robinet sur un réservoir de chlore. Il est dangereux, soit de travailler sur le robinet, soit de déplacer le réservoir. Si l'on entasse de la carboglace autour du réservoir, la tension de vapeur du chlore est abaissée au-dessous de la pression atmosphérique : la fuite cessant par ce moyen l'on peut aisément démonter et remplacer le robinet avarié.

Un exemple analogue est le suivant : quand la chloropicrine est mélangée à de la glace carbonique, sa tension de vapeur est abaissée à un point tel que le mélange peut être transporté dans des seaux découverts sans que les personnes employées à cette manutention portent des masques.

— Une utilisation inédite est son introduction dans les entreprises funéraires. Certaines de ces entreprises font usage de la carboglace pour arrêter momentanément les phénomènes de putréfaction sur le cadavre (durant la période comprise entre le décès et l'enterrement). La glace sèche est coupée en tranches et placée directement sur le corps (abdomen et partie inférieure du buste). Si le corps est gardé plus de 48 heures avant la mise en bière, une seconde application est nécessaire. Il faut à peu près cinq kilogrammes de glace pour une application.

— Pour conclure, nous ne pouvons passer sous silence les expériences sur la pluie artificielle réalisées il y a peu de temps dans notre région du Sud-Ouest (15).

Le principe est celui-ci : le nuage générateur de pluie est un cumulo-nimbus dont l'épaisseur atteint plusieurs kilomètres. A la base de ce nuage, la température est supérieure à 0°C, au contraire, au sommet elle est inférieure à 0°C (la température baisse de 2°C par 1.000 mètres d'altitude). Les gouttelettes en suspension doivent subir un refroidissement assez intense pour se solidifier. On provoque celui-ci en ensemençant le nuage avec de la glace carbonique granulée (dégageant un froid de — 80°C) : il sert d'amorce à la solidification de l'ensemble. Sous l'effet du froid dégagé, le début de la cristallisation se produit : les premiers cristaux de glace grossissent à partir des gouttelettes voisines. Les flocons de neige tombent et parvenus dans les couches à température supérieure à 0°C, fondent et atteignent le sol sous forme de gouttes de pluie.

Les essais ont été effectués en août 1949 à bord d'un avion au-dessus de la région de Cestas. Les résultats enregistrés sont les suivants :

Type de nuage ensemencé : strato-cumulus.

Base du nuage : 900 mètres (température + 2°C) ;

Sommet du nuage : 5.500 mètres (température — 6°C) ;

Quantité de carboglace : 37 kgs.

Une pluie douce de 20 minutes en résulte.

Deux jours après, trois expériences sont renouvelées et donnent dans les trois cas une pluie diluvienne de trente minutes.

Ainsi, en temps de sécheresse, on pourra provoquer parfois une chute de pluie providentielle. En temps d'inondations, au contraire, on pourra bombarder les nuages par carboglace au-dessus de l'océan et dériver en partie les pluies trop abondantes.

B) TECHNIQUE DU FROID

Le froid artificiel, nous l'avons vu, abaisse la température des corps. Ces températures varient, selon les cas de — 40° à + 10° centigrades. Bien qu'elles soient inférieures à 0°C, il est inexact de parler de chaleur négative. L'ingénieur frigoriste se base non sur la température à laquelle l'eau distillée devient glace, mais sur le *zéro absolu*, c'est-à-dire — 273°C. On a calculé qu'à cette température la pression d'un gaz s'annulerait. En dessous elle deviendrait négative, ce qui au point de vue physique est une absurdité (17). Le zéro absolu n'a jamais été atteint (l'hydrogène a été liquéfié à — 259°) et l'on est loin de parvenir à ce degré de froid dans l'industrie frigorifique.

Avant de pénétrer dans le monde des frigories, il est sage d'en savoir la définition. La grande calorie ou millithermie est la quantité de chaleur qu'il faut fournir à un kilo d'eau pour élever sa température de 1° centigrade. La frigorie est la quantité de froid qui est fournie à un corps pour lui enlever une millithermie.

I. — PROCEDES INDUSTRIELS DE PRODUCTION DU FROID

Il est d'usage courant de rafraîchir une bouteille pleine de boisson en l'entourant d'un linge humide et en faisant sécher celui-ci par exposition au soleil ou au courant d'air. Lorsque le médecin veut inciser un panari superficiel, il dirige sur le doigt malade un fin jet de chlorure d'éthyle qui en s'évaporant pro-

duit par le froid une légère anesthésie, de plus, il provoque un raffermissement des chairs qui les rend plus faciles à couper par le bistouri. Passons un peu d'éther sur notre peau et nous ressentons aussitôt un froid assez intense. Dans tous ces exemples l'abaissement de température a été réalisé par évaporation d'un liquide volatil : un liquide qui se vaporise absorbe de la chaleur et il l'emprunte aux corps qui sont en contact avec lui. C'est ce principe qui est le plus souvent utilisé dans l'industrie du froid.

On peut cependant faire naître le froid par d'autres moyens tels que la fusion d'un corps (glace hydrique), sa sublimation (glace carbonique) ou la dissolution d'un solide dans un liquide (mélanges réfrigérants : glace pilée + chlorure de sodium par exemple dans les sorbetières de ménage).

Dans l'industrie, on emploie pour un meilleur rendement l'évaporation d'un liquide provenant d'un gaz. Il faut que ce gaz soit aisément liquéfiable sous l'effet d'une pression de quelques atmosphères (gaz ammoniac, gaz sulfureux, gaz carbonique, chlorure de méthyle, fréon). Les machines frigorifiques sont conçues de façon à créer une évaporation rapide et continue de la substance frigorigène qui passe de l'état liquide à l'état gazeux.

Nous décrivons successivement :

1° Le procédé de réfrigération par compression ;

2° Le procédé de réfrigération par absorption ;

3° Les machines à éjection de vapeur.

Ces trois systèmes ont pour principe l'évaporation d'un liquide.

4° La fabrication de la glace carbonique ;

5° L'étude des divers gaz utilisés dans le cycle par compression.

1. — *Cycle de réfrigération par compression*

Nous ne faisons ici que schématiser les modes de fabrication du froid sans, bien entendu, avoir la prétention de présenter une question technologique.

La substance frigorigène parcourt un circuit fermé (fig. 1) où elle passe par divers états (3). Sous forme de gaz à faible pression, elle est aspirée par un *compresseur* (servant de pompe aspirante et foulante). Ce compresseur refoule le gaz, mais sous forte pression, dans un serpentin appelé *condenseur,* qui a pour but de liquéfier ce gaz à haute pression en le refroidissant (le refroidissement est accompli par une pluie d'eau froide : condenseur à eau, ou par l'air ambiant : condenseur à ailettes, ou encore par le système du contre-courant : l'eau de refroidissement circule dans un tube de petit format contenu dans la canalisation même du serpentin). Sortant du condenseur à l'état de liquide à haute pression, le fluide générateur de froid est alors amené à *l'évaporateur.*

Cet évaporateur est également une canalisation en serpentin située dans l'enceinte où l'on veut abaisser la température. Par évaporation du liquide, le froid est réalisé, et le gaz à faible pression issu de cette dernière opération est à nouveau aspiré par le compresseur. Le débit est réglé par un robinet de détente en amont de l'évaporateur (on peut avoir par exemple une valve de détente magnétique contrôlée par un thermostat d'ambiance placé dans la chambre froide : lorsque la température s'y abaisse le thermostat coupe le courant et la valve se ferme et inversement lorsque l'atmosphère de la chambre froide s'échauffe trop). De part et d'autre du compresseur, se trouvent des dégraisseurs où se déposent les huiles souillant la substance frigorigène.

C'est l'évaporateur qui fabrique les frigories, et qui se trouve en contact avec le corps à refroidir : atmosphère de la chambre froide (détente directe) ou solution de saumure (solution dont le degré de congélation a été abaissé par apport salin de $Ca\ Cl^2$ ou Na Cl) conduite au niveau des chambres frigorifiques par des canalisations.

Ce procédé de réfrigération par compresseur est le plus courant dans l'industrie et nos enquêtes régionales ne nous ont montré que celui-ci.

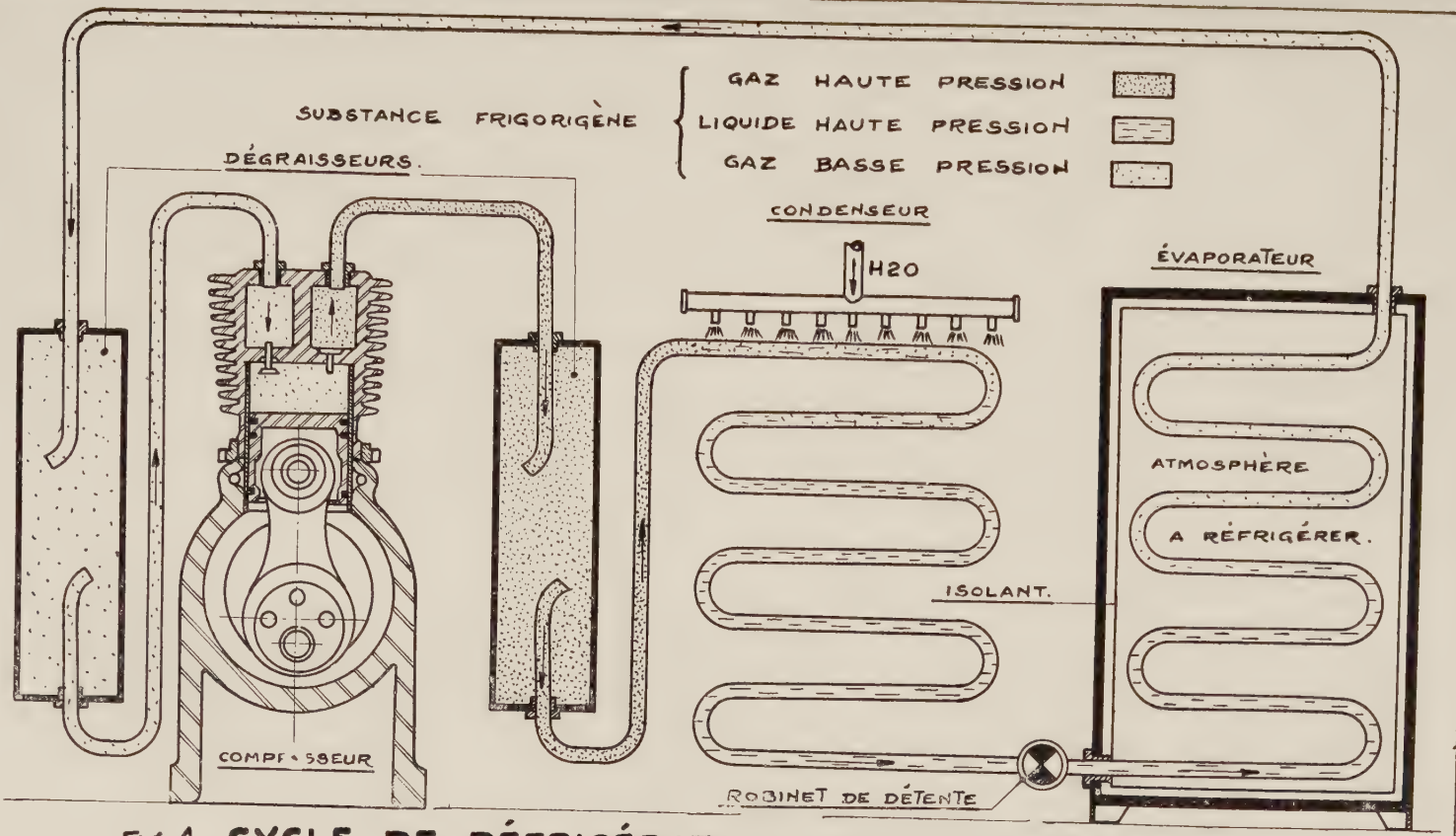


Fig. 1 - CYCLE DE RÉFRIGÉRATION PAR COMPRESSION.

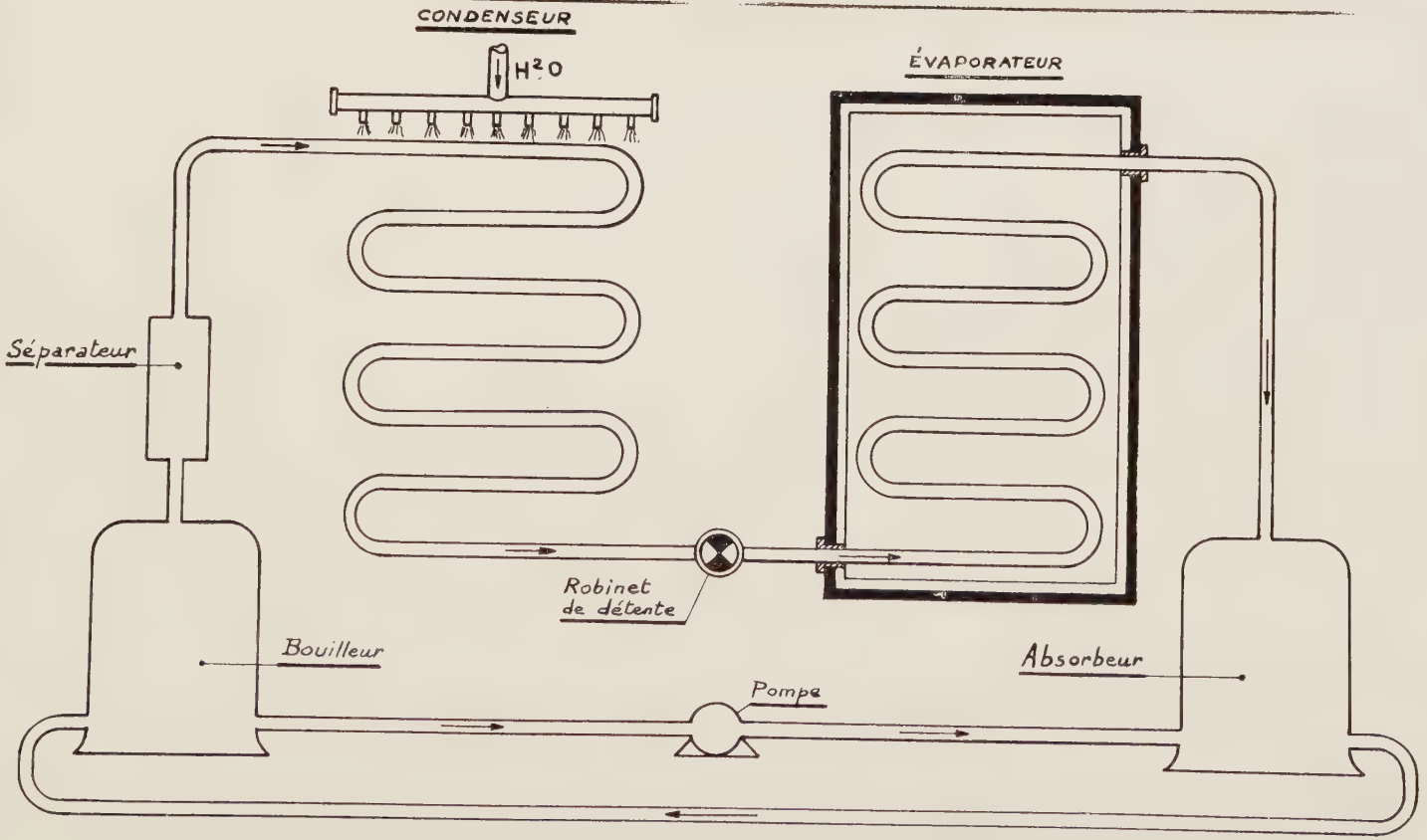


Fig. 2 - CYCLE FRIGORIFIQUE A ABSORPTION -

2. — *Cycle frigorifique à absorption*

Il est basé sur la propriété que possède l'eau d'absorber de nombreux volumes de gaz ammoniac à basse température et de le restituer sous l'action de la chaleur (l'eau dissout 900 fois son volume de ce gaz à 0°C et le restitue en totalité à 100°C) (3).

La figure 2 schématise le circuit : la solution riche, c'est-à-dire l'eau chargée d'ammoniaque se trouve dans une chaudière ou *bouilleur*. Celui-ci est chauffé (résistance électrique, flamme de gaz, etc.) et le gaz ammoniac s'en échappe sous haute pression. Par un séparateur, il est isolé de la vapeur d'eau qui retourne au bouilleur. L'ammoniac passe alors dans le condenseur où il est liquéfié comme précédemment, puis dans l'évaporateur selon les mêmes modalités que dans le cycle à compression. L'ammoniac détendu et à basse pression pénètre dans un récipient appelé *absorbeur*.

Il s'y trouve une solution appauvrie et refroidie venant de la chaudière. Une pompe assure la circulation. Elle aspire la solution en cours d'enrichissement dans l'absorbeur et l'envoie au bouilleur.

Absorbeur et bouilleur jouent ici le rôle du compresseur : le bouilleur dégage le gaz sous pression, l'absorbeur provoque un vide relatif en absorbant une grande quantité de gaz par dissolution dans l'eau.

Ce principe est appliqué souvent dans les appareils ménagers.

3. — *Procédé par éjection de vapeur*

On le trouve surtout dans l'équipement des navires frigorifiques.

La vaporisation de l'eau peut donner naissance au froid. Mais la difficulté réside dans le grand volume occupé par la vapeur d'eau dans les conditions où se produit la vaporisation. Le compresseur devrait donc avoir de très grandes dimensions. On a ainsi fait usage d'éjecteurs où la vapeur est évacuée. Le fluide

(l'eau) n'est ni toxique ni cher. De plus, la vapeur provenant de l'échappement d'autres machines, peut alimenter les éjecteurs.

4. — *Fabrication de la carboglace*

La glace hydrique est produite par une circulation de saumure refroidissant des bacs d'eau. Totalement différente est la fabrication de la glace sèche. C'est de l'anhydride carbonique pur solidifié. Ce même produit, mais liquéfié, est utilisé par les limonadiers pour la fabrication des eaux gazeuses, limonades, siphons.

Voici les différents stades de la production de carboglace :

L'anhydride carbonique liquéfié est emmagasiné dans des bouteilles de réserve d'une capacité de 600 kgs. Le CO^2 liquide se trouve à une pression variant de 50 à 70 kgs par cm^2 suivant la température. Il passe dans des sous-refroidisseurs pour arriver à une bouteille de détente à une pression de 20 kgs par cm^2 et une température de — 20°C. Il est ensuite injecté dans le générateur à une pression de 4 kg. 500 par cm^2. Cette injection a pour but de solidifier par brusque détente la majeure partie de l'anhydride carbonique liquide en CO^2 solide. On obtient alors la neige carbonique pulvérulente et peu dense. L'injection terminée, c'est-à-dire lorsque le générateur à neige est rempli, on comprime cette neige par une presse hydraulique ou en arrosant la colonne de neige carbonique avec du CO^2 liquide à 11 kgs de pression. La neige se tasse, devient dense et donne *la glace carbonique* : c'est un produit aggloméré, de densité 1,4, d'aspect neigeux.

Ce procédé, par brusque détente du CO^2 liquide est le plus employé.

La glace carbonique produit son froid par la sublimation d'un pain qui retourne à son état gazeux en repassant par le chemin inverse de sa fabrication : phase solide-phase liquide (extrêmement rapide et imperceptible à l'œil) - phase gazeuse. Cette sublimation se fait spontanément à la pression atmosphérique normale.

5. — *Fluides frigorigènes du cycle par compression*

Ce sont des gaz facilement liquéfiables : ammoniac, chlorure de méthyle, fréon sont en pratique seuls employés. Nous parlons toutefois de l'anhydride sulfureux et de l'anhydride carbonique qui sont susceptibles d'être appliqués.

a) *Ammoniac ou* NH^3 :

Gaz incolore, plus léger que l'air, à odeur pénétrante caractéristique. Aisément liquéfiable : il se liquéfie à 10° sous une pression de 6,5 atmosphères (d'où le cycle par compression), il est aussi très soluble dans l'eau (d'où le cycle à absorption). La solution qui en résulte est une base faible appelée alcali volatil ou ammoniaque de formule NH^4OH. Le gaz ammoniac ne brûle pas dans l'air, mais brûle dans l'oxygène.

Irrespirable et lacrymogène, il est très toxique et provoque l'inflammation des muqueuses. C'est un caustique énergique : il attaque la peau et la brûle en profondeur. Les conjonctives de l'œil sont particulièrement sensibles au NH^3.

Sa détection se réalise par son odeur particulière ou par le réactif de Nessler (iodure mercurique dissout dans de l'iodure de potassium en présence de potasse) qui donne avec NH^3 un précipité brun. Une baguette imprégnée d'acide chlorhydrique donne avec l'ammoniac des vapeurs blanches de chlorure d'ammonium.

On fait usage de l'ammoniac dans les moyennes et grosses installations.

b) *Chlorure de méthyle* ou CH^3Cl.

Gaz d'odeur éthérée, incolore. Il est peu combustible, très stable et modérément inflammable. Les mélanges d'air et de chlorure de méthyle sont inexplosibles sauf intervention brusque d'une source chaude (ainsi les dangers de combustion brutale sont minimes). Il est soluble dans l'eau et très soluble dans l'alcool (un volume d'alcool en dissout 33 volumes). Il attaque l'aluminium et le zinc (d'où éviter ces matières premières dans les installations).

Les fuites se recherchent avec une lampe à alcool pur (*lampe haloïde*) : en présence de CH^3Cl et de cuivre, la flamme d'alcool presque incolore, se colore en vert.

Les petites installations font souvent emploi de chlorure de méthyle.

c) *Fréon ou dichlorofluorométhane* ou $C\,Cl^2\,F^2$.

Gaz ininflammable et inexplosible. Peu toxique et peu corrosif, il est stable jusqu'à 550° : au-delà de cette température, il se décompose et donne naissance à des produits très toxiques, notamment au phosgène. Il dissout les graisses, les résines, le caoutchouc et la gutta-percha.

On le détecte par une lampe haloïde comme le chlorure de méthyle.

d) *Anhydride sulfureux* ou SO^2.

Gaz incolore à odeur suffocante provoquant la toux et les larmes (odeur de soufre très prononcée). Il est plus lourd que l'air et très soluble dans l'eau (un litre d'eau en dissout 50 litres). Sa liquéfaction à 15° se réalise sous 2,70 atmosphères. Il est réducteur et donne avec l'oxygène de l'anhydride sulfurique. En présence d'eau ou d'air humide, il se forme de l'acide sulfurique ($SO^4\,H^2$) qui peut ronger les tuyauteries. Ininflammable, il est très toxique et sert de microbicide (contre punaises, poux, rats : on brûle des bâtons de soufre dans une enceinte close).

La recherche des fuites se fait au moyen d'un pinceau trempé dans l'ammoniaque : les vapeurs de NH^3 se combinant à celles du SO^2 donnent des fumées blanches de sulfite d'ammonium.

e) *Anhydride carbonique* ou CO^2.

Incolore, inodore et insipide, c'est un gaz plus lourd que l'air (grotte du chien), assez facilement liquéfiable par compression de 50 atmosphères, il est soluble dans l'eau (un litre d'eau en dissout un litre). La solution aqueuse est l'acide carbonique ou $CO^3\,H^2$. Ininflammable, il ne peut exploser et favorise au contraire l'extinction des incendies.

RESUME DES PRINCIPALES PROPRIETES DES SUBSTANCES FRIGORIGENES (tableau 1)

Fluide frigorigène	*Propriétés physiques et chimiques*	*Pouvoir réfrigérant*	*Point de liquéfaction*	*Détection*	*Toxicité*
Ammoniac NH^3	Plus léger que l'air. Incolore Odeur caractéristique, très soluble dans l'eau. Ne brûle pas dans l'air. Plus léger que l'air	Très bon	6,5 atmosphères à 10°	Odeur, baguette imprégnée de HCl, vapeurs blanches	Très toxique
Chlorure de méthyle $CH^3\ Cl$	Incolore. Odeur éthérée. Soluble dans l'eau. Peu combustible.	Moyen	1 atmosphère à — 22°	Lampe haloïde, en présence cuivre, flamme verte	toxique
Fréon $C\ Cl^2\ F^2$	Ininflammable, inexplosible, Très stable	Bon	3,3 atmosphères à 10°	Lampe haloïde, en présence cuivre flamme verte	Très peu toxique
Anhydride sulfureux SO^2	Incolore ,plus lourd que l'air Soluble dans l'eau. Ininflammable, odeur suffocante	Moyen	2,72 atmosphères à 15°	Pinceau trempé dans $NH^4\ OH$ fumées blanches	Très toxique
Anhydride carbonique CO^2	Inodore, Incolore Plus lourd que l'air	Très bon	50 atmosphères à 10°	Barbotage dans une solution de baryte, précipité blanc	Peu toxique

On le décèle par barbotage dans une solution de baryte ou de chaux : il donne alors un précipité blanc.

Il n'entretient pas la respiration : on s'asphyxie dans une atmosphère de CO^2 comme on s'asphyxie dans une atmosphère d'azote ou d'hydrogène, par manque d'oxygène.

Tous ces gaz sont comprimés à des pressions différentes. Dans une température ambiante de + 32°C, la haute pression dans une installation de SO^2 est de 5 kg. 800 par cm^2. Dans les mêmes conditions, une installation au chlorure de méthyle atteindrait 8 kg. 65 par cm^2 (3). Dans une installation au CO^2 les pressions peuvent atteindre 70 kgs par cm^2 (les machines et tuyauteries doivent être très robustes). Notons que la présence d'air ou de gaz pratiquement incondensable dans le circuit haute pression peut augmenter celle-ci sensiblement.

Stabilité (le produit ne doit pas se décomposer trop facilement); *combustibilité* faible ou nulle ; *absence de toxicité* sont les qualités demandées à un fluide frigorigène. De plus, la substance ne doit pas attaquer les parois des récipients et canalisations qui le contiennent. Enfin, ses constantes de vapeur doivent être comprises entre certaines limites.

Le tableau 1 résume les propriétés des gaz frigorigènes.

II. — CONSERVATION DU FROID

Il est démontré que conserver le froid est plus difficile que de le produire. Cela revient à dire qu'il faut une énergie plus grande pour maintenir un certain degré de froid que pour l'engendrer.

Par radiation le corps le plus chaud (par exemple l'atmosphère baignant une chambre froide) transmet sa chaleur au corps plus froid que lui (la chambre froide). En voici une preuve courante : Si un dormeur se sert d'une bouillotte, la chaleur de celle-ci lui donne au coucher une sensation de bien-être ou parfois de brû-

lure (la température de la bouillotte est plus élevée que celle de son corps). Dans le milieu de la nuit, notre homme ne ressent ni chaud ni froid, car les deux températures sont à peu près équilibrées. Sur le matin, la bouillotte provoque une sensation de froid désagréable (le corps humain plus chaud, lui transmet sa chaleur).

Il est donc primordial que les diverses installations frigorifiques soient dotées de procédés d'isolation efficaces.

Les *matériaux isolants* (17) sont caractérisés par un faible coefficient de transmission (ils doivent mal conduire la chaleur):

Un poids spécifique réduit ;

Ils ne doivent être ni hygroscopiques, ni putrescibles, ni combustibles.

1° *Le liège* est un des plus usités. Il l'est sous forme de liège aggloméré dont voici en gros la fabrication : les écorces de chêne liège sont broyées en granulés. On en élimine les particules métalliques et les cailloux (pour que les scies ne soient pas ébréchées), puis on les met en silo. Deux sortes de liège aggloméré sont alors distinguées :

a) Ou bien le liège est aggloméré par une colle (colle de gélatine + glycérine ; brai), c'est le *liège blanc*. Le moulage s'effectue sous forte pression et la cuisson à 100°C.

b) Ou bien le liège est *expansé*, c'est-à-dire aggloméré par lui-même, sans tiers liant. C'est celui qui possède les meilleures propriétés isolantes. Les granulés sont moulés sous faible pression et cuits à 300°C. (l'enfournement est mécanique mais le défournement est manuel et se réalise au crochet). Puis ils sont démoulés et refroidis.

En définitive, le liège est employé en tant qu'isolant sous forme de panneaux (nouvelles constructions), sous forme de granulés (de liège expansé, non de liège brut) pour les vieilles constructions (entre plancher et plafond par exemple) ou sous forme de coquilles pour isoler les canalisations.

2° *La laine de verre* tend de plus en plus à se développer. Elle est composée de fibres très fines en verre (leur diamètre atteint l'ordre de quelques microns). En tant que matière isolante, on la mélange avec du brai.

La laine de verre est flexible et élastique et peut épouser toutes les formes. Elle est incombustible. Elle est aussi un excellent isolant électrique, ce qui permet de noyer dans sa masse tous fils ou canalisations. Son coefficient de conductibilité atteint des chiffres équivalents à ceux du liège.

3° D'autres produits tels que l'amiante, des feuilles minces d'aluminium froissé, des feuilles ondulées d'acétate de cellulose (Isoflex) sont autant de matériaux d'isolation.

III. — TRANSPORTS FRIGORIFIQUES

Le maillon transport est essentiel pour la chaîne du froid.

1° *Les transports routiers* (21) comprennent des *camions isothermes* (caisse isolée sans dispositif de refroidissement), des *camions réfrigérants* (comprenant un dispositif de réfrigération : glace hydrique ou carbonique, mélanges réfrigérants), des *camions frigorifiques* (installation de réfrigération autonome réalisant elle-même son froid) ;

2° *Les transports ferroviaires* sont également composés de wagons isothermes, réfrigérants et frigorifiques ;

3° *Les transports maritimes* possèdent deux sortes de navires : ceux comportant accessoirement une cale aménagée en frigorifique et les bateaux frigorifiques spécialisés ;

4° *Les transports par air* : les avions transportent rapidement les colis, soit après réfrigération, soit en observant une altitude calculée pour assurer une véritable réfrigération naturelle ;

5° *Container autonome* : C'est une récente réalisation française et bordelaise qui permet une chaîne du froid absolument continue (22). Ce container ou caisson frigorifique autonome fonc-

tionne dans n'importe quel lieu. Ce groupe frigorifique est étudié pour une ambiance d'au moins 40°C (colonies, par exemple). C'est une chambre froide transportable. L'isolation est réalisée par des panneaux de liège. Le froid est assuré par plusieurs compresseurs. Le fréon est le liquide frigorigène. Il marche automatiquement avec thermostat donnant une température constante à l'intérieur.

Trois sources d'énergie : un moteur électrique sur courant continu ; un moteur électrique sur courant alternatif ; un moteur à essence fonctionnant chaque fois que manque l'énergie électrique nécessaire (pendant le chargement chez le producteur et dans le port, durant le déchargement au port d'arrivée, au cours des transports par camions ou chemins de fer jusqu'aux consommateurs).

C) DEGRÉ D'EXTENSION DE L'INDUSTRIE DU FROID

L'équipement frigorifique actuel de la France permet de réaliser environ une puissance de 480 millions de frigories-heure. L'entreposage (21) se fait dans des établissements publics et privés. Les premiers totalisent une capacité de 565.000 m³. Leur répartition géographique est inégale : cinq départements à eux seuls occupent 60 % de la superficie des établissements frigorifiques français : Seine, Bouches-du-Rhône, Seine-Inférieure, Rhône et Gironde. De plus, les entrepôts portuaires prennent également un rang important.

Les établissements privés totalisent une capacité de 100.000 m³.

L'équipement français se divise comme suit :

1° *Secteur fruits et légumes :* quatre gares frigorifiques et douze stations fruitières (triage, calibrage, emballage et préréfrigération avant expédition) ;

2° *Secteur viande* : Abattoirs publics (capacité de stockage de 70.000 m³) ; abattoirs privés ou industriels (45.000 m³) ; centres de stockage (portuaires ou de l'intérieur) ; installations de commerce de distribution ;

3° *Secteur lait :* Il est très insuffisant et la chaîne du froid y est souvent interrompue.

4° *Secteur poisson* : dans les ports surtout ;

5° *Congélation rapide* : vingt tunnels sont répartis en treize installations ;

6° *Transports frigorifiques* : En 1949, la France dispose de 2.500 wagons isothermes, 2.500 wagons réfrigérants (glace hy-

drique) et 130 containers. Pour les transports maritimes, il existe 16 navires bananiers (73.000 m^3) ; 9 navires frigorifiques (36.000 m^3) et 24 navires mixtes (cales ordinaires et cales refroidies, 13.000 m^3). Quant aux transports aériens, 75 appareils sont spécialisés.

Le plan Monnet a pour but de moderniser et développer toute l'industrie du froid en accroissant le nombre des établissements augmentant leur rendement et rationalisant leur utilisation.

Comparons les capacités d'entreposage en chambres froides de diverses nations :

U.S.A.: 18 millions de m^3 (130 pour 1.000 habitants) ;

Grande-Bretagne : 2.300.000 m^3 (60 pour 1.000 habitants) ;

Pays-Bas : 300.000 m^3 (33 pour 1.000 habitants);

France : 560.000 m^3 (14 pour 1.000 habitants).

Notre pays occupe ce rang modeste par le fait qu'il est un pays producteur et peu importateur au point de vue alimentaire. De plus, les distances étant courtes entre les régions, le transport des denrées est rapide, enfin, beaucoup de provinces pratiquent la polyculture et se suffisent souvent à elles-mêmes. D'où la nécessité de stocker en France est moins importante qu'aux Etats-Unis où les distances sont grandes, ou qu'en Angleterre qui doit importer beaucoup.

Le problème médical dans l'Industrie du Froid

L'Industrie du Froid, bien que moderne et perfectionnée, n'est malheureusement pas exempte de dangers pour l'ouvrier qui l'entretient en bonne voie de marche. Les incidents ou accidents qu'elle engendre posent un problème médical que nous tentons de résoudre en trois étapes successives :

— Physiologie du travail ;

— Pathologie professionnelle ;

— Prévention des maladies et accidents.

Dans l'Industrie du Froid, on peut classer les travailleurs en trois catégories en tant que risques :

1° Les personnes en contact avec les installations frigorifiques et soumises à l'influence du froid et des variations brusques de température ;

2° Les ouvriers travaillant à la salle des machines et exposés aux gaz toxiques à la suite de fuites ou défectuosités du matériel ;

3° Les hommes exposés aux dangers de manutention, dangers électriques, dangers d'incendies et d'explosions ou autres dangers divers.

Nous adoptons cette classification pour les trois divisions de notre étude.

A) CONDITIONS PHYSIOLOGIQUES DU TRAVAIL

Avant de décrire les accidents et maladies qui guettent le travailleur dans l'Industrie du Froid, il est utile d'avoir un aperçu sur la façon dont l'organisme réagit contre ces divers facteurs.

Le processus de défense physiologique est un premier pas dans le domaine de la pathologie : nous voulons dire par là qu'à une agression de faible intensité, l'organisme répond par une réaction physiologique qui n'est que le premier terme d'une réaction anormale et plus accentuée : la réaction pathologique (réponse à une agression plus forte).

I. — ACTION DU FROID SUR L'INDIVIDU

1. — *Rappel de la résistance de l'organisme humain au froid*

Le soleil est générateur de toutes les énergies dans son système. Tout phénomène vital est fonction directe de la chaleur. Partons du cas purement chimique : Sous l'action du froid, les réactions cessent (4). Si l'on met en présence à — 100°C deux corps quelconques, tels que l'acide sulfurique et la potasse, il ne se passe rien. Dans de telles conditions, la vie, avec ses échanges respiratoires et sa production de chaleur ne peut subsister. La vitesse des réactions chimiques double ou triple quand la température à laquelle elles se produisent augmente de 10°C (loi de Van T'Hoff). Autrement dit, chaque réaction, qu'elle

soit chimique ou biologique possède un coefficient thermique appelé Q 10, variable avec chacune (il varie le plus souvent entre 2 et 3). Hedon compte par exemple les battements d'un cœur de grenouille séparé du corps de l'animal à des températures différentes :

— à 10°C, il bat 20 fois par minute ; à 20°C il bat 51 fois. Le Q 10 vaut donc 51/20 = 2,55.

— Pour le chat (cœur isolé), les résultats sont 40 mouvements à 18° et 100 mouvements à 28°. Le Q 10 vaut 2,5.

Ainsi, entre 5 et 30°C l'intensité des phénomènes biologiques augmente aussi avec la température.

Il existe une *température « de vie » optima* (9). Au-dessus de cette température et peu au-delà, le protoplasme souffre puis meurt. Au-dessous, mais avec un écart plus grand, l'activité diminue également (on aboutit de la sorte à une courbe en cloche de l'activité cellulaire et partant, de la vie des organismes). Plus l'organisation des animaux devient complexe, plus leur résistance au froid diminue. Les organismes inférieurs supportent des températures très basses. De même, les animaux à sang-froid : on a pu rappeler à la vie des poissons et des grenouilles refroidies jusqu'à — 20°C ! Des anguilles emprisonnées dans un bloc de glace pendant une période de une demi-heure à une heure sont ensuite libérées par réchauffement et récupèrent leur vitalité antérieure : la glace contient souvent des bulles d'air et d'oxygène, ce qui permet aux dites anguilles de survivre à leur congélation. Au contraire les homeothermes sont bien plus sensibles au froid (24°C étant la température la plus basse que le corps humain puisse atteindre).

Par la *thermo-régulation,* le corps maintient sa température constante. Pour lutter contre le froid, il augmente ses combustions (régulation thermique) et restreint sa déperdition de chaleur (régulation physique).

a) *Il augmente ses combustions* d'abord par un apport alimentaire plus important. Plus la température extérieure est basse,

plus la consommation en oxygène est grande. D'autre part, l'activité musculaire est un autre moyen de lutte. Ce travail musculaire est volontaire ou involontaire. Dans ce dernier cas, le frisson, réponse de l'organisme à une sensation de froid, détermine une action directe sur un centre nerveux, qui entraîne une augmentation des échanges respiratoires. On parle enfin d'autres processus : le foie serait le siège de réactions chimiques dégageant de la chaleur, rôle des glandes endocrines (thyroïde, surrénales), rôle du système nerveux.

b) *Il restreint ensuite sa déperdition de chaleur* et lutte contre le rayonnement : le pelage des animaux exerce un rôle protecteur car entre chaque poil est emprisonnée une masse d'air qui joue ce rôle (10). Cette masse d'air en augmentant le volume isolant, augmente la protection. Les oiseaux, eux, hérissent leurs plumes. L'homme prend exemple sur les bêtes et accumule fourrures et vêtements.

La résistance humaine au froid est très inégale suivant les sujets et elle est augmentée par l'entraînement. La régulation permet de grandes variations de la température ambiante. Sur certains points du globe, la température descend au-dessous de — 60°C. On a relevé un minimum de — 78°C en Sibérie orientale ! (17). La température critique inférieure de l'extérieur (température la plus basse que peut supporter un être vivant) peut atteindre expérimentalement des chiffres très bas (10) : Giaja et Gelineo donnent quelques chiffres : pigeon, — 85°C ; Poule, — 50°C ; Oie, — 100°C ; cobaye, — 15°C ; lapin, — 45°C ; chien, — 160°C.

Classiques sont les expériences de R. Pictet sur les températures très basses (16). Il utilise trois frigorifères, formant trois enceintes. Dans la plus externe, le froid est réalisé par un mélange d'anhydrides sulfureux et carbonique, dans la seconde, par du protoxyde d'azote liquéfié, dans la troisième par de l'air liquide. Il a pu atteindre au sein de son appareil des températures de — 200°C. Ses résultats biologiques sont intéressants.

Il place un chien dans le puits frigorifique à une température de — 100°C (il l'isole des parois pour éviter les gelures). Il constate une augmentation des mouvements respiratoires et de la fréquence du pouls. Pour lutter contre la déperdition de chaleur la faim de l'animal augmente. Il mange du pain qu'il avait refusé au début de l'expérience Au bout d'un certain temps, la lutte contre le froid devient impossible, la température du chien descend brusquement et l'animal meurt.

Enfin Pictet a expérimenté ses recherches sur lui-même. Dans une première expérience, il plonge le bras dans le puits frigorifique porté à — 105°C. Il ressent un refroidissement « allant jusqu'à l'os » ; au bout de trois à quatre minutes la peau devient violacée et la douleur est intolérable. En retirant le bras, il se produit une forte réaction avec cuisson superficielle de la peau. Une deuxième fois, il se plonge tout entier, sauf la tête dans son enceinte à la même température. En quelques minutes, une impression de faim très vive l'assaille. Il prétend d'ailleurs avoir amélioré une anorexie et une maladie d'estomac en se plongeant à diverses reprises dans son puits frigorifique.

2. — *Physiopathologie*

a) *Les accidents locaux* sont les gelures qui siègent habituellement aux extrémités. Elles sont dues à un excès de vasoconstriction ou au réchauffement trop rapide des zones ischémiées ;

b) *Le refroidissement subit et intense* peut entraîner la mort subite avec paralysie des vasomoteurs, chute de la tension artérielle, adynamie musculaire générale.

c) *Le refroidissement excessif et prolongé* est caractérisé par une vaso-constriction périphérique intense, fatigue consécutive aux frissons, adynamie musculaire, paralysie des muscles des membres et du tronc. La respiration ralentit et devient superficielle, de même le rythme cardiaque. L'arythmie apparaît avec flutter auriculaire. Il y a augmentation de la viscosité sanguine. Le froid provoque une action dépressive sur le système nerveux

d'où délire tranquille ou attaques épileptiques et tendance au sommeil. A une phase de polyurie succède une phase d'anurie avec souvent albuminurie (14). Il existe un trouble du métabolisme des glucides, des protides et des sels minéraux, une diminution de la réserve alcaline. Certains auteurs assimilent le problème du froid à un problème de consommation en oxygène. Ils convertissent les degrés de température en kilomètres d'altitude.

3. — *Conclusions*

De toutes ces notions physiologiques et physiopathologiques, on peut déduire les conditions normales de travail dans une atmosphère refroidie. Divers facteurs entrent en jeu dans la nocivité provoquée par les basses températures (23) :

a) *l'intensité du froid.* Il est évident que l'homme supporte plus mal un froid intense qu'un froid modéré. Il semble que la température d'exposition de — 50 à — 70°C pour une durée de deux à quatre heures, ne doit pas être dépassée sans inconvénient ;

b) *l'efficacité des moyens de protection :* L'isolement bien réalisé par des vêtements en laine par exemple, empêche l'action pathogène du froid.

c) *l'état de santé du travailleur :* le facteur terrain est d'une importance extrême. L'ouvrier bien nourri, en bonne santé, supporte le froid, plus aisément qu'un homme sous-alimenté, carencé en vitamine ou dont l'état de santé laisse à désirer.

d) *l'accoutumance du personnel* influe aussi. L'organisme arrive pour ainsi dire à se mithridatiser à l'action du froid et réagit plus facilement. Enfin, un travail musculaire soutenu en atmosphère froide empêche l'organisme de se refroidir.

II. — ACTION DES GAZ TOXIQUES SUR L'ORGANISME

1. — *Rappel de quelques lois physiques sur les échanges gazeux*

a) *Loi de Mariotte* : la tension d'un gaz est inversement pro-

portionnelle à son volume. Le gaz occupe tout l'espace qui lui est offert grâce à une force expansive qui est la tension gazeuse ;

b) *Pression partielle d'un gaz* : Dans un mélange de gaz, la pression de chacun varie en proportion directe du nombre de ses molécules dans le mélange ;

c) *Loi de Henry* : La solubilité d'un gaz dans un liquide est fonction de sa pression partielle ;

d) *Loi de Dalton* : Dans un mélange de deux gaz, chacun agit pour son propre compte et se dissout en fonction de sa propre pression ;

e) *Loi de Graham* : La vitesse de diffusion d'un gaz à travers une membrane poreuse est inversement proportionnelle à son poids moléculaire et directement proportionnelle à sa solubilité dans la membrane.

2. — *Physiopathologie*

L'action des gaz sur l'organisme humain permet de les classer en trois catégories :

a) *Les gaz inertes* (tel que le gaz carbonique) qui déterminent une asphyxie par privation d'oxygène : ils prennent la place de celui-ci. La marche de l'asphyxie se déroule en plusieurs temps (5) : une phase cérébrale se terminant par la perte de la conscience; une phase d'excitation corticale avec phénomènes convulsifs (face et membres) et cyanose. Ce temps se termine par l'abolition des réflexes ; une phase d'arrêt des mouvements respiratoires, avec inhibition du centre respiratoire ; enfin, une phase cardiaque avec arrêt du cœur. La circulation cérébrale étant perturbée, il y a syncope et mort.

b) *Les gaz toxiques*. Ils n'agissent pas par asphyxie (qui est une anoxémie) mais provoquent des désordres graves directement sur le système nerveux et les tissus en pénétrant dans le sang. Lors d'inhalation de gaz toxique successivement se déroulent : une phase d'irritation des voies respiratoires avec suffocation, accès de toux, éternuement, larmoiement, oppression ; une phase de rémission avec atténuation de la dyspnée et de la toux

(cette étape est bien entendu absente en cas d'absorption massive) ; une phase cérébrale, le toxique agissant directement sur les centres nerveux vitaux.

Nous relatons quelques expériences effectuées avec l'ammoniac, le fréon, le chlorure de méthyle :

— Ammoniac : Lehmann et Ranzini ont accompli des recherches expérimentales sur lapins et cobayes. En faisant respirer pendant quatre à dix jours une atmosphère contenant 1/8 de c. de NH^3 par litre (c'est-à-dire 1/8 pour mille), les animaux sont indemnes. Mêmes résultats avec un taux de 1/4 pour 1.000. En général, au-dessous de 1/2 pour 1.000, l'ammoniac se révèle parfois dangereux, mais non mortel. Enfin, avec un taux de 1,5 pour 1.000, tous les animaux meurent en quatre à dix jours. L'autopsie montre de graves lésions pulmonaires (action sélective sur la muqueuse respiratoire : action irritante d'abord, congestionnante par la suite. C'est ce que confirment les observations cliniques).

— Chlorure de méthyle : une souris blanche est tuée en 5 h. 30 dans une concentration de 1 % de CH^3 Cl. Un cobaye exposé quotidiennement pendant quinze minutes dans une atmosphère à 30 milligrammes de chlorure de méthyle par litre meurt au deuxième jour (8). Avec une concentration de 6 mg. par litre, il meurt en trois semaines.

— Fréon : Les auteurs américains ont expérimenté l'action du fréon sur des animaux et ont mis en évidence des troubles respiratoires et nerveux. Des chiens, des singes et des cobayes ont été soumis à une atmosphère contenant 20 % de vapeur de fréon pendant 7 à 8 heures durant 83 jours (23). Les chiens sont pris d'un tremblement après quelques minutes de séjour dans l'air pollué. Ce tremblement s'accentue à l'effort. Les yeux sont larmoyants, le regard fixe, la salivation abondante. Au bout de deux semaines, le tremblement diminue et les autres signes disparaissent. L'expérience terminée, le chien redevient normal en 10 minutes. Les phénomènes sont analogues chez le singe, mais

d'une manière moins accentuée. De plus, ils se remettent plus vite dès qu'ils sont soustraits à l'atmosphère toxique. Enfin, les cobayes beaucoup moins sensibles, ne semblent pas troublés. L'autopsie ne montre pas de lésions. Il semble qu'il y ait augmentation légère des polynucléaires neutrophiles et diminution des lymphocytes. Un séjour de une demi-heure dans un mélange contenant 80 % de fréon et 20 % d'air entraîne la mort des cobayes avec fortes convulsions, mais il est certain que dans ce cas l'anoxémie joue un rôle important ; en effet, si l'on remplace les 20 % d'air par 20 % d'oxygène, la durée de survie est triplée.

c) *Les gaz caustiques et irritants.* Certains gaz (NH^3 - SO^2) outre leur action toxique, possèdent des propriétés irritantes et caustiques sur les muqueuses respiratoires. Ce sont elles qui provoquent toux, éternuements, larmoiements.

3. — *Conclusions*

Il ressort de tout cela :

— que les gaz ont toujours tendance à s'échapper dans l'atmosphère, dès que l'occasion leur en est donnée (fuites, mauvais état des machines) ;

— que leur toxicité diffère selon leur nature. Nous résumons dans le tableau 2 les doses toxiques pour chaque gaz frigorigène.

gaz toxique	Concentration du gaz (en pourcentage)		
	Mortel en très peu de temps	dangereux après 20 à 60 minutes	Maximum ne présentant pas de danger après 1 heure
SO^2	0,3	0,1	0,01
NH^3	0,5	0,25	0,01
CH^3 Cl	20,	3,	0,03
CO^2	30,	6,	3,
Fréon	indéterminé	80,	40,

Tableau 2 — **Toxicité des gaz frigorigènes**

III. — ACTION DE L'ELECTRICITE SUR LE CORPS HUMAIN

Parmi tous les dangers divers auxquels est exposé le travailleur du froid, le danger électrique est un des mieux systématisés. Plusieurs facteurs entrent en jeu (5) :

1. — *Facteurs physiques*

Forme et fréquence du courant. Le courant alternatif donne des contractions musculaires capables d'empêcher de lâcher le conducteur. Le danger croît avec la fréquence, passant par un maximum avec 2.500 périodes, puis décroissant et devenant nul à 10.000 périodes (haute fréquence).

Intensité. Chez les animaux, 30 à 60 milliampères constituent un danger. 60 à 80 milliampères sont mortels.

Résistance : 1 ampère = V volt/R ohm.

Quand le courant traverse un corps vivant, il faut considérer la résistance de la peau et la résistance interne. La résistance peut atteindre 30.000 ohms si la peau est sèche, calleuse et baisser à 1.000 ohms si elle est humide ou moite. Ainsi l'on a un courant de 120 volts dans le premier cas :
I = 120/30.000 = 4 milliampères (aucun danger) ;
dans le second cas : I = 120/1.200 = 100 milliampères (mort en quelques secondes).

2. — *Facteurs biologiques*

Rôle de la surprise : un courant auquel on ne s'attend pas est dangereux. Importance de l'endocrinologie : tous les sujets glandulaires sont plus exposés que les êtres normaux.

B) PATHOLOGIE PROFESSIONNELLE

Qu'il manipule les denrées dans les chambres froides, qu'il répare et entretienne les machines, qu'il effectue un travail quelconque dans l'atelier d'un établissement frigorifique, l'ouvrier est exposé à des risques variés.

I. — DANGERS ENGENDRES PAR LE FROID

1° *Catégories de travailleurs*

Sont compris dans cette catégorie les ouvriers des chambres froides des industries telles que : entrepôts frigorifiques, abattoirs, fabriques de glace ; ceux des plus petites entreprises comme alimentations, boucheries.

2° *Conditions de travail*

a) *Intensité de la température* : Les hommes travaillant aux chambres froides sont soumis à des températures variant entre + 3° et — 30°C environ. Le brusque changement de température est un facteur pathologique plus important que son intensité même. Par temps chaud, le contraste est accentué.

b) *Durée de l'exposition au froid* : Elle est selon les circonstances, de quelques minutes à plusieurs heures. Certains ouvriers restent parfois trois ou quatre heures dans une atmosphère de — 30°C pour entreposer ou déplacer des tonnes de viande. L'inconvénient n'est pas grand car le travail musculaire intense auxquels ils sont soumis leur donne les calories nécessaires pour lutter contre l'hypothermie.

Le contact direct de la peau avec un objet réfrigéré provoque des gelures plus ou moins importantes selon la durée du contact, la nature et l'intensité du froid de cet objet. Un contact

de quelques minutes avec la glace hydrique n'entraîne pas d'accident, mais ce contact répété tout le long d'une journée est plus dangereux. Il suffit d'un contact de une à deux minutes avec la carboglace pour constater des gelures profondes.

3° *Pathologie*

Les travailleurs des chambres froides sont sujets à diverses manifestations morbides. Le froid agit sur eux selon deux processus (2) :

1) *Il provoque d'abord un simple refroidissement,* seule étiologie de la maladie qu'il fait naître. Et dans ce cas, nous voyons le sujet peu précautionneux atteint d'affection « a frigore ». Les manifestations les plus fréquentes sont le rhume banal, les angines, les bronchites, les myalgies, les lombalgies, les névralgies, les arthralgies. Au dire des intéressés, elles sont plus nombreuses pendant l'été et cela s'explique de deux manières :

a) la température extérieure étant plus élevée et celle de la chambre froide restant constante, la différence est plus grande.

b) durant la belle saison, les sujets sont vêtus plus légèrement, transpirent plus facilement et risquent ainsi de se refroidir plus aisément.

Il nous a été indiqué dans notre enquête une importance relative quant aux douleurs articulaires. Peut-être faut-il voir ici l'association de deux facteurs : froid et humidité.

Il ne faut pas négliger les cas de gelures localisées, d'engelures et de prurit pour des travaux à très basse température : réparation de machines très froides. Contact accidentel avec de la glace sèche.

2° *Affaiblissement du terrain* : Outre ces manifestations où le facteur refroidissement est essentiel et sans lequel la maladie ne se serait pas produite, l'exposition au froid peut augmenter une débilité de terrain déjà préexistante chez certains sujets. Les lésions provoquées sont alors beaucoup plus dangereuses et moins caractéristiques quant à l'étiologie. Ce dernier point d'ailleurs permet souvent de contester le froid en tant qu'ori-

gine. Il faut alors admettre que le facteur froid ne peut assumer une valeur d'élément spécifique déterminant et agit comme une cause favorisant l'apparition de ces formes morbides en diminuant les défenses de l'organisme. La classique expérience de Pasteur démontre que la réfrigération amoindrit la résistance aux agents infectieux : il immerge des poules dans l'eau froide et constate la disparition de leur immunité naturelle contre le charbon. Lipari inocule des pneumocoques dans la trachée des lapins et les refroidit en même temps : il provoqué des lésions broncho-pneumoniques (2).

Il est difficile d'expliquer le mécanisme par lequel le froid diminue la résistance du terrain, mais la plupart des auteurs s'accordent pour parler d'un abaissement de la défense immunitaire : amoindrissement du pouvoir bactéricide, disparition de la formation d'anticorps, inexistence de la phagocytose ou peut-être les trois facteurs à la fois.

Ambrosio a fait une étude de la tension artérielle de tous les ouvriers de l'installation frigorifique du port de Naples. Elle ne révèle aucune élévation importante.

II. — ETUDE DES DANGERS PROVOQUES PAR LES EMANATIONS TOXIQUES

1° *Catégories de travailleurs*

Ici figurent tous les ouvriers travaillant à la salle des machines frigorifiques, qu'ils soient affectés à l'entretien ou au montage de ces machines ou qu'ils aient à y séjourner pour une autre cause. Il ne faut pas oublier non plus les monteurs d'armoires frigorifiques ainsi que leurs utilisateurs, tels que bouchers ou autres travailleurs de l'alimentation.

2° *Conditions de travail*

Dans cet ordre d'idée, rien de précis ne peut être formulé. Les conditions de travail dans l'entretion ou la réparation des machines sont en effet très variables et dépendent de l'état du

matériel. Tel ouvrier s'exposera à des émanations massives en réparant ou nettoyant un compresseur, tel autre absorbera une quantité moins importante de gaz toxique parce que la portion du circuit détérioré contient une moins grande concentration du même gaz. La durée de quelques travaux plus dangereux est nécessairement très courte.

3° *Facteurs favorisants* (23)

a) *Difficulté d'accès aux machines* et aux diverses pièces du circuit : une machine placée dans un endroit peu accessible est mal entretenue, d'où possibilité de fuites plus importantes. L'ouvrier qui entretient ou répare cette machine s'échappera plus difficilement si une émanation l'intoxique ; de même le secours sera plus long à venir.

b) *Mauvais état des pièces et tuyauteries constituant le circuit* : Les joints, les serpentins, s'ils ne sont pas souvent vérifiés peuvent se fissurer ou être ébranlés par des chocs. Le métal constituant ces tuyauteries ne doit pas être attaqué par le frigorigène (cuivre et ammoniac par exemple).

c) *Surpression* à l'intérieur du circuit. Elle peut causer une rupture de joint et de ce fait une fuite massive.

d) *Dégivrage* : Il se pratique de deux façons : Ou bien le givre est enlevé par des râclettes et les coups répétés sont à l'origine d'un ébranlement des tuyaux, ou bien le givre est soumis à des variations de température, ce qui fait dilater, puis rétracter les organes.

Deux sortes de désordres sont observés en général :

a) *les malaises légers* dus à un faible pourcentage de vapeur toxique dans l'air ambiant ;

b) *les troubles plus importants* provoqués par l'absorption plus massive de substance nocive.

Le cas, heureusement rare de la rupture brusque d'une canalisation fait plutôt partie de la rubrique accidents mécaniques par les lésions qu'elle peut entraîner.

4° *Pathologie engendrée par l'ammoniac*

Ambrosio a dosé les quantités de gaz dans l'atmosphère de la salle des machines. Pour cela, il fait passer l'air chargé d'ammoniac dans une solution d'acide sulfurique N/10. Il titre ensuite la solution de $SO^4 H^2$ avec une solution de soude N/10 et en déduit la quantité de NH^3 présent dans l'air.

Dans les conditions normales de travail il obtient 0,04 cc. de NH^3 par litre d'air. Pendant le nettoyage des compresseurs, il trouve 0,12 cc. de NH^3 par litre d'air.

Dans les conditions normales de travail, les ouvriers accusent parfois des irritations très facilement supportées et absolument inoffensives : état irritatif des conjonctives et de la muqueuse nasale, sécheresse de la gorge. Il en est tout autrement durant le nettoyage de compresseurs ou lors de rupture de valves, robinets ou tuyauteries. Ces causes accidentelles créent une élévation brusque du taux de NH^3 dans l'air ambiant et l'atmosphère devient irrespirable même pendant quelques minutes. Un pourcentage de 0,15 % d'ammoniac dans l'air produit des quintes de toux avec expectoration muqueuse quelquefois sanglante, des nausées, des vomissements.

Ambrosio rapporte quelques observations : un ouvrier ayant aspiré une grande quantité de vapeurs d'ammoniaque constata une aphonie qui dura plusieurs mois ; un autre ouvrier, après avoir reçu un jet d'ammoniac sur la figure ressentit larmoiements et étourdissements, puis il perdit connaissance. Il revint à lui en quelques minutes sans aucune séquelle. D'autres travailleurs dont les mains furent en contact avec l'ammoniaque liquide furent atteints de brûlures avec phlyctènes et perte des ongles de quelques doigts. Il y a souvent irritation de la gorge.

Il ressort d'autres observations que la mort survient (23) lors d'éclatement de canalisation d'ammoniac, soit immédiatement, soit quelques jours après hospitalisation.

Conclusions :

Les vapeurs de NH^3 irritent :

a) *Les poumons* : Les autopsies d'ouvriers décédés à la suite d'inhalation massive d'ammoniac révèlent une inflammation de la muqueuse respiratoire jusque dans ses plus fines ramifications avec exsudats fibrinoïdes. Il y a aussi brûlure des voies supérieures (trachée, larynx, pharynx). L'autopsie d'un ouvrier mort avec des signes de pneumonie, montre des poumons distendus, une muqueuse trachéale desquamante, une augmentation de sang et de mucus (suc gris rouge) dans le parenchyme pulmonaire.

b) *Les yeux* : Il existe parfois une nécrose de la conjonctive, une insensibilité de la cornée, une opacification du cristallin.

c) *La peau* : Le gaz ammoniac sous pression provoque des brûlures du second degré, qui entraînent des escarres molles, humides, colorées en rouge par l'hémoglobine dissoute qui imbibe les tissus mortifiés.

5° *Troubles provoqués par le chlorure de méthyle*

Nous relevons dans la Bibliographie, quelques *observations*.

Un homme de 30 ans respire des vapeurs de chlorure de méthyle en réparant un appareil frigorifique dans une cave (25). En entrant chez lui, il ressent un malaise général et vomit cinq ou six fois. Pendant deux jours persiste un état de somnolence et un état vertigineux dans les 24 heures suivantes. La guérison est complète.

Un ouvrier de 50 ans (25) déjà intoxiqué plusieurs fois inhale à nouveau du chlorure de méthyle. Après quelques heures de latence, le sujet vomit puis reste pendant 24 heures dans un certain état confusionnel. Les deux ou trois jours suivants survient un état vertigineux. Le sujet déjà emphysémateux voit apparaître des symptômes de bronchite chronique.

Au cours de réparations de compresseur de frigidaire deux cas sont relevés (7). Le premier est un empoisonnement très léger. Dans le deuxième les troubles gastro-intestinaux dominent pendant trois jours : vomissements nombreux et diarrhée

profuse. L'évolution est favorable après ingestion de solutions bicarbonatées sodiques.

— *Symptomatologie* (25) :

a) Une période de latence entre l'absorption du chlorure de méthyle et les premiers symptômes ;

b) Période de début : Sensation de faiblesse et de grande fatigue. Impression de pesanteur généralisée. Vertiges. Anorexie. Diminution de l'acuité visuelle. *Assoupissement* progressif avec un état confusionnel plus ou moins accentué. Les signes physiques sont la mydriase, parfois le nystagmus et le ptosis. Ces premiers signes peuvent disparaître pendant quelques heures puis réapparaissent en s'accentuant.

c) Période d'état. On voit apparaître des *symptômes digestifs* avec nausées et douleurs abdominales, puis vomissement unique ou se répétant sans cesse et amenant une déshydratation rapide. On peut observer de la céphalée et un subictère. L'assoupissement progressif se transforme en sommeil profond voisin du coma. Dans les atteintes plus graves, apparaissent convulsions et cyanose. La tachycardie est importante (150 pulsations par minute) de même que la polypnée (32 mouvements). L'hyperthermie est très variable (de 37°5 à 40°). Quelquefois il existe un certain degré de néphrite avec oligurie, parfois anurie. Les urines très acides contiennent de l'acétone, de l'acide diacétique, des cylindres granuleux et hyalins, des hématies. Dans le sang, on remarque une anémie se rapprochant du type de l'anémie aplastique sans figure de régénération globulaire. La tension artérielle est diminuée.

d) Evolution. Elle se fait rarement vers la mort (paralysie respiratoire), mais le plus souvent vers la guérison. Les accidents se répètent en crises et s'espacent en diminuant d'intensité. La guérison est complète dans les cas les plus sérieux en trois semaines. Les séquelles sont rares: il s'agit alors d'un léger déséquilibre du système nerveux (nervosité, ataxie, vertiges, troubles de la vision). L'intoxication chronique se traduit par

des troubles de la mémoire et un certain état de nervosisme. La gravité de l'évolution dépend de la concentration du chlorure de méthyle inhalé, du temps d'exposition et de la prédisposition du sujet.

6° *Symptômes réalisés par l'inhalation de fréon*

Une intoxication observée chez un ouvrier (11) qui remplissait des appareils frigorifiques avec de l'anhydride sulfureux et du fréon a permis de relever quelques caractéristiques :

a) *des troubles respiratoires :* Toux sèche par accès avec sensation de constriction thoracique.

b) *des troubles nerveux* : Outre de l'asthénie et un amaigrissement le malade se plaint de forte nervosité, crampes, tremblements et hypersomnie avec hallucinations auditives ;

c) Sous l'influence de la chaleur, le fréon se décompose en fluor et acide fluorhydrique dont l'effet toxique engendre une certaine auto-défense de l'organisme. Celle-ci se manifeste par l'augmentation du phosphore sanguin et des phosphatases du sérum.

Fluor et acide fluorhydrique peuvent entraîner eux-mêmes deux sortes d'intoxication : par absorption massive apparaissent des phénomènes pulmonaires comme dyspnée et cyanose. Les intoxications chroniques sont surtout osseuses : le fluorure de sodium emprunte du calcium à l'organisme. De plus, il peut se fixer sur les os en les marmorisant : l'aspect radiologique du système osseux montre une ostéosclérose localisée surtout au niveau du rachis. L'apparition de ce syndrome est assez tardif.

En dehors du fluor et de l'acide fluorhydrique, la décomposition du fréon entraîne au contact de la flamme la formation d'oxyde de carbone, de chlore, de phosgène et d'acide chlorydrique qui sont tous très toxiques.

7° *Signes cliniques produits par l'intoxication à l'anhydride sulfureux*

Son action est irritante et caustique. Il se transformerait au contact des muqueuses respiratoires humides en acide sulfureux,

puis acide sulfurique.

Trois genres d'intoxication sont observés (19).

a) *Intoxication aiguë*. Au cours d'une brusque admission de SO^2 dans l'atmosphère, le sujet qui l'inhale suffoque et présente de la cyanose. Il y a confusion mentale. La complication est la bronchite aiguë, rarement l'asphyxie avec mort. On peut voir dans le sang de la polyglobulie et une augmentation des lymphocytes (excitation des centres hématopoiétiques).

b) *Intoxication subaiguë* lorsque la dose du toxique est moins forte. L'enrouement, l'oppression respiratoire, la toux spasmodique et la bronchite exsudative ou suppurée en sont les principaux symptômes. Les complications sont de légères hémoptysies ou une anémie avec tachycardie et bradypnée.

c) *Intoxication chronique*. Elle provoque des troubles généraux et locaux. Parmi les premiers, on observe la fatigabilité, la soif, la constipation, la polyurie acide, l'anomalie des réflexes, des troubles de la menstruation. Les seconds sont des irritations des muqueuses respiratoires (coryza, enrouement, épistaxis, hémoptysies), conjonctivales et buccales (goût acide, salivation exagérée).

8° *Troubles provoqués par l'anhydride carbonique*

Ce gaz existe dans l'air normal dans la proportion infime de 0,3 à 0,7 pour 1.000. Sur le lieu du travail son taux ne doit pas excéder 5 pour 1.000 en volume. Il devient dangereux dans les proportions de 3 à 5 %. La teneur rapidement mortelle est de 40 %.

Avec un taux de 10 % apparaissent en quelques minutes des céphalées, des troubles visuels et la perte de la conscience.

Il n'est pas toxique en lui-même, mais il joue le rôle de gaz inerte. Cependant il occasionne de l'acidose, en se dissolvant dans le plasma. Il provoque une excitation ébrieuse, il excite le centre respiratoire et le centre vasomoteur.

III. — DANGERS DIVERS

Ces dangers sont communs à toutes les entreprises modernes importantes.

1° *Dangers de manutention*

Que ce soit la manipulation des denrées périssables dans les chambres froides ou le chargement des blocs de glace, que ce soit la réparation ou l'entretien des circuits frigorifiques (les organes des machines en mouvement, les courroies, les hélices des ventilateurs sont autant d'objets dangereux), toutes ces opérations peuvent entraîner des fractures, des écrasements, des coupures, des piqûres ou des plaies infectées, tous accidents du travail banaux.

2° *Dangers électriques*

L'énergie électrique à la base de la presque totalité des industries cause là aussi des effets nocifs pouvant aller jusqu'à l'électrocution mortelle.

3° *Dangers d'incendie et d'explosion*

Ils sont dus :

a) Ou bien aux liquides frigorigènes : l'ammoniac, par exemple est inflammable avec l'oxygène. La présence d'air ou de gaz pratiquement incondensable dans le circuit peut être la cause d'une haute pression sensiblement plus élevée (3). Certaines pressions atteintes (avec CO^2 par exemple) peuvent entraîner des explosions. En effet, dans les fabriques de carboglace, est associée la fabrique d'anhydride carbonique mis en bouteilles métalliques. Sous l'effet de la chaleur (exposition au soleil), le gaz se dilate et peut provoquer l'explosion du contenant (paille dans le métal), en éclats métalliques meurtriers. Un ouvrier de l'usine d'anhydride carbonique et de carboglace à Bègles, dut ainsi être amputé d'une jambe à la suite d'un accident semblable ;

b) Ou bien aux autres matériaux combustibles. Ces matériaux sont le plus souvent des accessoires : portes isolantes en liège ou à base de copeaux, de carton. De même les huiles de graissage, les chiffons, les matières nécessaires à l'emballage peuvent être la cause d'incendies. On observe alors tous les accidents de brûlures et d'asphyxies d'une gravité plus ou moins importante.

4° *Industries annexes*

Nous pensons qu'il est utile de mentionner ici la pathologie professionnelle de deux industries annexes à l'industrie du froid : la fabrication du liège expansé et celle de la laine de verre.

a) Durant les diverses phases de fabrication *du liège aggloméré*, l'ouvrier est exposé aux poussières (lors du broyage et de la mise en silo : un cas de mort par suffocation a été signalé), aux fumées et aux brûlures (lors du défournement du liège expansé).

b) *Manipulation de la fibre de verre* (20). Au cours de cette manipulation les fibres d'une épaisseur de quelques microns se brisent : les bâtonnets qui en résultent sont autant de corps rigides pouvant se fixer dans l'épiderme. D'autre part, ils peuvent voltiger dans l'air et pénétrer dans les voies respiratoires. Toutes les observations et expérimentations médicales ont montré :

— que cette manifestation n'entraîne qu'un prurit léger, temporaire et inoffensif : « réaction à type ortie avec petits éléments multiples surélevés faisant saillie sur un fond épidermique rosé » (6).

— l'absence totale de silicose. Des prélèvements dans des ateliers de fibre de verre, effectués avec le conimètre de Zeiss ont révélé 10 à 15 poussières au cc. (il y a danger au-dessus de 135 particules de silice libre au cc.). De plus, le verre n'est

pas de la silice libre et ne peut entraîner de fibrose pulmonaire. Des radiographies pulmonaires effectuées sur des personnes travaillant depuis plus de cinq ans à la manipulation de la laine de verre n'ont pas révélé de lésions.

C) PRÉVENTION DES MALADIES ET ACCIDENTS

L'Industrie du Froid possède un double caractère d'une grande importance pour la Médecine du Travail :

1° Elle est récente ;

2° Elle est appelée à prendre un développement de plus en plus important.

I. — C'est une industrie d'âge relativement jeune. Sa maturité n'est donc pas atteinte et le domaine de la prophylaxie des accidents ou maladies dus aux installations frigorifiques est encore mal prospecté.

II. — C'est une industrie qui tend à prendre un essor très grand. Ainsi le nombre de ces accidents et maladies s'accroît avec le nombre et la nouveauté des machines.

Nous devinons le rôle prépondérant que joue et jouera la Médecine du Travail dans le terrain en défrichement du Froid artificiel.

Dans chacun des trois paragraphes (se rapportant aux diverses catégories de travaux) nous rappelons brièvement les principaux points de pathologie afin de mieux présenter la question de la prévention. Enfin, nous envisageons quelques très brefs traitements.

I. — TRAVAILLEURS EXPOSES AU FROID

1° *Pathologie*

Deux notions principales sont à retenir :

a) *Trois sortes de maladies* sont engendrées par le froid : les inflammations de l'arbre broncho-pulmonaire et des voies respiratoires supérieures ; les algies diverses dont les douleurs

articulaires ; les lésions locales (gelures, troubles trophiques des téguments) ;

b) *La notion de terrain* influe beaucoup pour l'ouvrier exposé au froid.

2° *Prévention*

De tout cela, nous pouvons déduire l'utilité de diverses précautions :

a) *Prévention médicale :*

L'examen médical d'embauche et de contrôle doit être orienté de manière à dépister cette débilité de terrain funeste à l'ouvrier du froid :

— les maladies pulmonaires chroniques et surtout la tuberculose viennent au premier rang d'une incompatibilité avec l'Industrie du Froid. Dans ce sens, l'examen radiologique doit être associé à l'examen clinique ;

— l'alcoolisme favorise aussi les infections dues au froid : pneumonie, tuberculose.

— Certains sujets seraient intolérants au froid. L'immersion des mains pendant cinq minutes dans l'eau froide, entraîne chez ces sujets sensibles un certain choc. De plus, les sujets petits à peau moite, transpirant facilement des pieds et des mains sont plutôt à éliminer car ils supportent moins le froid que les sujets grands à peau sèche (19).

b) *Prévention individuelle :*

C'est *la lutte contre le refroidissement.*

Trois moyens pour ce but :

— *Le vêtement protecteur.* On doit exiger de lui plusieurs qualités. Etre en fibres animales (laines ou poils), car celles-ci sont déjà conçues pour la lutte contre le froid ; de plus, elles emprisonnent une masse d'air augmentant l'isolement. Etre assez ample pour ne pas gêner les mouvements. Empêcher la transpiration (rejeter les tissus imperméabilisés ou caoutchoutés).

On pourrait ainsi prévoir l'habillement de l'ouvrier en chambre froide : linge de corps en laine, vêtements amples non imperméables ou en tissu non serré, canadienne en peau de mouton que le sujet endosse lorsqu'il pénètre dans l'enceinte réfrigérée ; sabots, galoches ou chaussures larges à semelles très épaisses (genre chaussures de ski), moufles en cuir souple au-dessus de gants de laine.

Les démouleurs et arrimeurs de glace sont munis de bottes, gants et manchettes en caoutchouc.

— *L'alimentation riche.* Les expériences de Pictet révèlent l'impression de faim intense provoquée par l'exposition au froid. L'organisme augmentant sa combustion, les glucides seraient plutôt à préconiser : bien que leur valeur calorique soit inférieure à celle des lipides (4,1 calories au lieu de 9,4 calories par gramme dans la bombe calorimétrique), ils sont le seul combustible capable de fournir une énergie transformable en travail (d'après Chauveau). De plus, ils sont souvent plus digestibles. Ceci est d'ailleurs en contradiction avec l'appétence qu'ont pour l'huile les Esquimaux et les Lapons.

De petits repas, plus fréquents, seront préférés aux repas copieux et espacés. L'alcool sera évité.

— *Le travail musculaire.* Il augmente aussi la combustion. L'activité musculaire du manutentionnaire en chambre froide est toujours assez intense et il est inutile de lui recommander de ne pas rester immobile.

c) *Prévention collective :*

C'est *la rationalisation du travail.*

— *Entraînement du personnel.* Il augmente la résistance au froid. Un débutant n'est donc soumis aux basses températures que durant peu de temps. L'augmentation de cette exposition au froid doit être progressive. La pratique de la douche écossaise est une bonne méthode d'entraînement (14).

— *Elimination temporaire des sujets fatigués* ou atteints de bronchite aiguë par exemple. De tels sujets sont déplacés si

possible et manipuleront les marchandises en dehors des chambres froides (quais d'embarquement par exemple).

— *Dispositif de sécurité.* En cas de malaise ou de danger, il faut prévoir à l'intérieur de l'enceinte un avertisseur audible de l'extérieur. Cet avertisseur sera plutôt mécanique qu'électrique car ce dernier est susceptible de ne pas toujours fonctionner.

Il serait utile de réaliser des équipes de deux ou plusieurs ouvriers dans les chambres froides de manière à éliminer l'isolement dangereux d'un sujet.

d) *Protection légale :*

Les risques de maladies et d'accidents dus au froid étant relativement rares, on ne trouve pas de dispositions ou de textes légaux en vue de protéger spécialement le travailleur.

— Une prime de froid est allouée aux manutentionnaires en chambres froides. Les chiffres qui nous ont été donnés sont les suivants et n'ont qu'une valeur tout à fait relative : 4 fr. 15 par heure pour une durée de présence totale de 4 heures dans les chambres froides à — 3°C et 8 fr. 30 pour les températures inférieures à — 3°C. Cette prime est destinée à l'achat d'aliments pour compenser en calories l'apport de frigories par l'air climatisé à basse température.

— Dans l'industrie de montage et d'entretien des machines frigorifiques, certaines conditions de travail ont été adoptées bénévolement ou imposées par voies réglementaires aux industriels. La loi du 22 juin 1944 spécifie : « Article 2 : toute création ou transformation d'installations frigorifiques publiques ou privées est soumise à autorisation ».

« Article 5 : Les prescriptions techniques réglementaires en matière d'équipement frigorifique, seront arrêtées par le délégué général à l'équipement national... »

3° *Traitement*

Nous ne parlons pas du traitement des pneumopathies, des rhumatismes ou des gelures, mais seulement des secours d'urgence aux accidents.

Si l'arrêt du cœur se produit au cours d'un refroidissement rapide, il est conseillé de réchauffer le corps par un bain à 45° pendant dix minutes suivi de frictions sèches. L'oxygène est utile, les analeptiques (adrénaline) dangereux (19). La surveillance médicale pendant plusieurs jours est obligatoire.

II. — TRAVAILLEURS EXPOSES AUX EMANATIONS TOXIQUES DES FLUIDES FRIGORIGENES

1° *Pathologie*

a) La nocivité dépend de la nature et de la concentration du gaz dans l'atmosphère ambiante ;

b) Les lésions sont générales (absorption par voie respiratoire) ou locales (brûlures cutanées) ;

c) Importance du terrain.

2° *Prévention*

a) *Prévention médicale :*

La visite d'embauche aura pour but de dépister les sujets dont les maladies sensibilisent l'organisme aux intoxications : insuffisance hépato-rénale, obésité, hémopathies, dysendocriniens. De même les pulmonaires et les nerveux supportent plus mal les émanations toxiques. Ainsi visites d'embauche ou de contrôle complèteront l'examen clinique par un examen radiologique, un examen des urines (albumine, hématies, sédiments) un examen du sang (numération, temps de saignement, temps de coagulation). Des examens de contrôle devraient s'effectuer tous les six mois. Si un cas d'intoxication se produit, l'examen doit être collectif.

b) *Protection individuelle :*

Elle est représentée par le masque de protection qui doit être mis à la disposition des ouvriers lors des opérations de

réparation ou de nettoyage. Le masque filtrant monovalent trouve là son emploi. Ce masque comprend trois parties (24) : un corps de masque recouvrant toute la figure (protection des conjonctives) en caoutchouc ou matière plastique, une cartouche filtrante dont la nature diffère avec chaque émanation, un système de valves et de raccords assurant l'étanchéité de tout l'appareil.

Dans la cartouche filtrante se trouvent divers produits neutralisant l'action du gaz toxique (pour l'ammoniac : sulfate de cuivre + charbon activé. Pour le SO^2 : soude caustique ou une solution d'hyposulfite ou bicarbonate de soude).

c) *Protection collective :*

Diverses mesures techniques doivent protéger le travailleur :

1° Elles ont pour but de supprimer toute source de dégagement toxique et d'éviter les explosions.

— *Mesures générales. Précautions d'usage.* La manipulation du fluide dans des appareils étanches, la vérification périodique des installations sont des mesures élémentaires. Les secousses et les chocs doivent être évités aux tuyauteries surtout lors de l'opération de dégivrage. L'ouvrier doit posséder des connaissances techniques suffisantes pour surveiller les machines et compresseurs. Son œil observera attentivement les manomètres de pression.

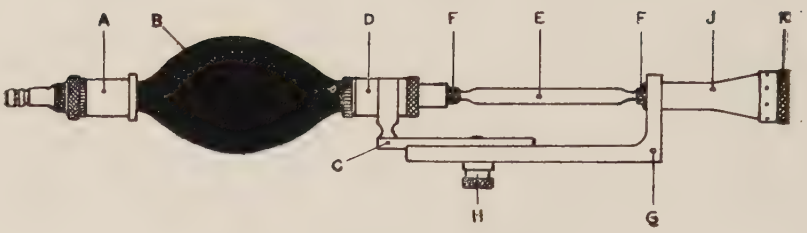
— *Bonne conception des machines.* Divers dispositifs de sécurité sont adoptés. Un clapet de retenue est placé à la sortie du compresseur. Il a pour but de fermer hermétiquement la tuyauterie de refoulement en cas de rupture du cylindre, de manière à éviter la fuite du gaz contenu dans le condenseur. Une crépine d'aspiration est disposée en amont du compresseur de manière à éviter l'intromission de matières solides que véhicule le fluide frigorigène et qui peuvent détériorer le cylindre. Enfin, en cas de surpression, une soupape de sûreté est installée : elle met en communication aspiration et refoulement du circuit.

De plus, la salle des machines doit comporter des issues suffisamment grandes et accessibles : de cette façon, en cas d'envahissement massif de gaz dans l'air ambiant, les ouvriers trouveront dans la fuite rapide le moyen de sauver leur vie.

2° Elles doivent éliminer les agents nocifs se répandant dans l'atmosphère des ateliers, par *l'aération de la salle des machines*. Nous savons que l'aération d'un local s'effectue par plusieurs moyens. Les portes et fenêtres sont nombreuses et larges. Il y a lieu de disposer des ouvertures permanentes et réglables. Les ventilateurs refoulent l'air à l'extérieur. Le chanard est un appareil cylindrique adapté à une prise d'air ; il crée une dépression et élimine l'air vicié de l'atelier. La ventilation et le renouvellement de l'air sont particulièrement importants lors des opérations de nettoyage et de réparation.

3° *Détection et dosage de l'élément toxique*. Nous avons vu dans l'étude des substances frigorigènes comment les détecter. L'ammoniac est détecté par son odeur ou une baguette imprégnée de HCl (vapeurs blanches) le chlorure de méthyle est mis en évidence par une lampe haloïde et du cuivre (flamme verte), de même pour le fréon. Le papier réactif au rouge congo vire du rouge au bleu en présence d'anhydride sulfureux.

Des appareils américains de détection sont à la fois pratiques et précis. Nous donnons ici un schéma de l'appareil de détection et dosage de faibles concentrations de bromure de méthyle et autres hydrocarbures halogènes (19). La poire en caoutchouc aspire l'air à analyser en A et le fait passer dans le tube à réaction E (contenant un mélange oxydant d'anhydride iodé et d'acide sulfurique lequel libère le bromure du bromure de méthyle). Le bromure libéré vient au contact du papier réactif imprégné de fluorescéine et le colore en rose si l'on ajoute une goutte d'hydrate de soude. On compare la coloration avec un tableau-type et l'on en déduit la concentration du gaz dans l'atmosphère.



A - SOUPAPE D'ADMISSION
B - POIRE DE CAOUTCHOUC
C - BARRE GLISSANTE
D - SOUPAPE D'ECHAPPEMENT
E - TUBE DE RÉACTION
F - GARNITURE DE CAOUTCHOUC
G - BARRE PRINCIPALE
H - VIS DE RÉGLAGE
J - PORTE-PAPIER RÉACTIF
K - COUVERCLE A VIS

Figure 3 — **Appareil de détection des hydrocarbures halogénés**

(Kay-Braid-Doherty — Laboratoire d'hygiène industrielle. Ministère de la Santé Nationale et du Bien-être Social à Ottawa, Canada)

d) *Protection légale :*

— Les installations frigorifiques sont soumises à la législation spéciale des établissements classés (loi du 19-12-1919).

— Dans le livre II (hygiène et sécurité des travailleurs) du Code du Travail, le décret du 10 juillet 1913 rend obligatoire l'évacuation des poussières et gaz incommodes insalubres ou toxiques.

— Le décret du 13 décembre 1948 prend des mesures de protection individuelle contre les poussières, vapeurs et gaz toxiques en mettant à la disposition du personnel des masques de protection efficaces.

— Seul le chlorure de méthyle possède une législation spéciale. Il figure au tableau 27 des maladies professionnelles. Le délai de prise en charge est de 7 jours. Vertiges, amnésie, amblyopie, ataxie et accidents aigus (coma, délire) sont les maladies envisagées.

3° *Traitement*

En pratique le traitement d'urgence en cas d'accident par inhalation se résume en deux parties : ammoniac et chlorure de méthyle.

a) *Ammoniac* : Pour pénétrer dans une atmosphère à forte concentration de NH^3, il faut se munir d'un masque. Si l'on ne dispose pas de celui-ci, tenir la tête le plus près possible du sol, car le gaz ammoniac est plus léger que l'air. Projeter dans l'atelier une grande quantité d'eau qui absorbera de grandes quantités de gaz. S'envelopper la tête et le visage de linge humide.

Le secours d'urgence au blessé est le suivant :

Si l'ammoniaque liquide a pénétré dans les narines, faire respirer un peu de vinaigre dilué et badigeonner la muqueuse nasale avec de l'huile. En cas d'introduction dans les yeux, instiller des gouttes d'une solution d'acide borique à 1 % ou baigner dans une œillère avec la même solution. En cas d'ingestion faire absorber du jus de citron ou du vinaigre dilué (1 % d'acide acétique, soit une cuillerée à café de vinaigre commercial par verre d'eau), puis une cuillerée à soupe d'huile, du lait ou le blanc de trois ou quatre œufs avec de la glace. Atténuer les effets de l'ammoniaque sur la peau en l'entourant d'une gaze trempée dans une solution d'acide picrique.

b) *Chlorure de méthyle* : En cas d'intoxication massive, les mesures immédiates sont : l'inhalation d'oxygène, les toni-cardiaques, le traitement de l'acidose (thérapeutique alcaline sous forme de bicarbonate de Na per os ou en goutte à goutte rectal).

Chaque établissement utilisant les gaz frigorigènes tels qu'ammoniac ou chlorure de méthyle devrait donc posséder une petite armoire de secourisme.

Elle pourrait contenir : coton hydrophile, gaze stérile, solu-camphre injectable, seringues et aiguilles hypodermiques. Une

solution d'acide picrique ou acétique à 1 %, acide borique à 1 %, huile.

Pour le chlorure de méthyle, il serait bon de posséder aussi une bouteille d'oxygène avec masque inhalant et du bicarbonate de Na.

III. — TRAVAILLEURS EXPOSES A DIVERS DANGERS

1° *Accidents mécaniques*

Ils seront évités :

— par un *entretien parfait* des machines et une surveillance stricte de tous les organes en mouvement ;

— par une *bonne disposition* des quais de chargement ou de déchargement ;

— par une *éducation rationnelle* du personnel.

Le livre II du Code du Travail prévoit que les moteurs doivent être isolés par des barrières de protection et que les pièces mobiles dangereuses des machines soient munies d'un dispositif protecteur ou placées hors de la portée de la main.

2° *Accidents électriques*

La protection des installations et appareils électriques, la vérification périodique de ces installations, l'interdiction d'effectuer des travaux de réparation sous tension sont des mesures de prévention collective.

De plus, il est utile d'éliminer les éthyliques, névropathes, épileptiques, les sujets atteints d'hyperhydrose palmaire.

3° *Dangers d'incendie*

a) *Les matériaux incombustibles* (23) doivent s'utiliser le plus souvent possible dans l'Industrie du Froid (ce qui n'est pas le cas pour les portes en bois, les isolants en liège ou à base de

paille, de carton). De plus, les réserves de fluide frigorigène, les chiffons, les huiles de graissage, doivent être soigneusement tenus à l'écart de toute flamme, étincelle ou source chaude.

b) *Les issues* de secours doivent permettre une évacuation rapide. Les prises d'eau et les extincteurs doivent être en nombre suffisant. Le décret du 10 juillet 1913 prévoit ces dispositions : au moins un extincteur à chaque étage, des postes d'incendie alimentés en eau sous pression, éventuellement une réserve de sable. Enfin, une consigne doit être affichée sur le lieu où l'on manipule les liquides inflammables : elle indique le matériel d'extinction et de sauvetage disponible et désigne le personnel chargé de mettre en action ce matériel.

4° *Dangers d'explosion*

La réglementation des appareils de production, d'emmagasinage ou de mise en œuvre des gaz comprimés, liquéfiés ou dissous, est créée par la loi du 28 octobre 1943. Les appareils sont soumis à une épreuve limitant le taux du travail de l'acier. Cette épreuve est obligatoirement renouvelée tous les cinq ans. Pour les appareils fixes contenant de l'ammoniac, de l'anhydride carbonique, du bromure ou chlorure de méthyle, de l'anhydride sulfureux, le renouvellement est porté à 10 ans. En cas d'accident survenu à un appareil, la pression maxima en service peut être diminuée.

5° *Dangers dus à la fabrication de la laine de verre*

Pour éviter une dermatose prurigineuse anodine, il est conseillé de porter des vêtements amples, non serrés au cou, aux poignets et aux jambes pour réduire le frottement de la fibre de verre sur la peau et de prendre des douches d'eau chaude après le travail afin de débarrasser l'épiderme de ces particules gênantes.

CONCLUSIONS

I. — L'intérêt de l'Industrie du Froid réside en :

1) La variété de sa technique ;

2) La diversité de ses applications et le nombre toujours croissant de celles-ci.

1° La variété de sa technique

Le froid artificiel est réalisé par l'évaporation d'un liquide ou d'un gaz liquéfié :

— soit au moyen du *cycle par compression* ;

— soit par le *cycle à absorption.*

Les *fluides frigorigènes* les plus employés sont l'ammoniac (NH^3), le chlorure de méthyle (CH^3Cl), le fréon ($C\,Cl^2\,F^2$). Ce dernier est le moins dangereux.

Enfin, *la glace carbonique* provient d'anhydride carbonique (CO^2) solidifié.

2° La diversité de ses applications

Le froid artificiel est d'une utilité importante :

— *pour l'alimentation* : Il réalise la chaîne du froid, c'est-à-dire qu'il maintient fraîche la denrée périssable depuis le producteur jusqu'au consommateur. Les aliments sont réfrigérés (+ 2°C environ) ou congelés (portés au-dessous de 0°).

— *pour l'industrie.*

— *pour la médecine.* Il constitue là un moyen de conserva-

tion (greffes) et une méthode thérapeutique (choc, gangrènes, dermatologie). La médecine légale fait également appel à lui pour la réalisation des chambres froides mortuaires.

— *pour l'agriculture.*

II. — Le rôle de la Médecine du Travail dans l'Industrie du Froid est important à deux points de vue :

1° *C'est une industrie jeune* qui tend à perfectionner sa technique, ce qui ne va pas sans une augmentation des risques encourus.

2° *L'étude de la pathologie et de la prévention* est encore mal précisée dans ce secteur.

III. — La pathologie professionnelle se divise en trois groupes :

1° La pathologie née du froid

Y sont exposés les travailleurs des chambres froides et les travailleurs de l'alimentation utilisant des moyens frigorifiques.

Rentrent dans cette catégorie :

— *des maladies pulmonaires aiguës,* algies diverses ;

— *des maladies aggravées par le froid,* comme la tuberculose;

— *des accidents locaux* (gelures, troubles trophiques des téguments) ;

2° La pathologie engendrée
par l'absorption de fluide frigorigène

Elle se manifeste chez les ouvriers des salles des machines de l'Industrie du Froid. L'étude des divers gaz montre que :

— *l'ammoniac* agit sur les poumons, les yeux et la peau ;

— *le chlorure de méthyle* entraîne des symptômes digestifs et une atteinte nerveuse ;

— *le fréon* provoque des troubles respiratoires et nerveux ;

— *l'anhydride sulfureux* atteint aussi les muqueuses de l'appareil respiratoire et l'état général.

— *le gaz carbonique* est peu toxique en lui-même, mais jouant le rôle de gaz inerte, provoque l'asphyxie.

3° La pathologie due aux dangers divers

Ce sont les dangers mécaniques (fractures, écrasements, plaies, etc.), les dangers électriques, les dangers d'incendie et d'explosion. Enfin, les industries de l'isolation, annexées en partie à l'Industrie du Froid, peuvent engendrer des accidents ou maladies (fabrication du liège, de la laine de verre).

IV. — La prévention portera sur les points suivants :

1° *Protection contre le froid* : Les pulmonaires chroniques, les éthyliques doivent être écartés. L'ouvrier du froid doit posséder un habillement rationnel. Sa nourriture doit être riche. Il est utile d'entraîner progressivement le personnel à l'exposition au froid.

2° *Protection contre les gaz toxiques* : Il est bon d'éliminer les insuffisants pulmonaires, hépato-rénaux, les dysendocriniens. La protection individuelle est représentée par le port du masque lors de la réparation des machines, la protection collective par le bon conditionnement des locaux et leur aération. La détection des gaz toxiques dans l'atmosphère sera mise en œuvre le cas échéant.

3° *Protection contre les risques divers* : Elle sera assurée par le bon entretien du matériel et l'éducation du personnel, qui contribueront également à la protection contre le froid et les gaz toxiques.

SERMENT

En présence des Maîtres de cette Ecole, de mes Condisciples, je promets et je jure d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité dans l'exercice de la médecine.

Je donnerai mes soins à l'indigent et n'exigerai jamais un salaire au-dessus de mon travail. Admis dans l'intérieur des maisons, mes yeux ne verront pas ce qui s'y passe ; ma langue taira les secrets qui me seront confiés, et mon état ne servira pas à corrompre les mœurs ni à favoriser le crime.

Reconnaissant envers mes Maîtres, je tiendrai leurs enfants et ceux de mes Confrères pour des frères, et s'ils devaient apprendre la médecine ou recourir à mes soins, je les instruirai et les soignerai sans salaire ni engagement.

Si je remplis ce serment sans l'enfreindre, qu'il me soit donné de jouir heureusement de la vie et de ma profession, honoré à jamais parmi les hommes. Si je le viole et que je me parjure, puissé-je avoir un sort contraire.

VU :
Bordeaux, le 11 mai 1951.
Pour le Doyen, l'Assesseur
L. CHELLE

VU :
Le Président de Thèse :
P. DERVILLEE.

Vu et permis d'imprimer
Bordeaux, le 19 mai 1951.
Le Recteur,
E. DELAGE.

BIBLIOGRAPHIE

1 ALLEN. — *Ice and Refrigeration,* Avril 1946, p. 68 (Extrait du *Bulletin de l'Institut International du Froid,* n° III, 1947).

2 AMBROSIO. — Condizioni igienico sanitarie dei lavoratori addetti al frigoriferi del porto di Napoli (*Folia Medica,* n° 11, nov. 1949).

3 ANICOT. — *Froid industriel.*

4 BROCA. — *Précis de Physique.*

5 DERVILLÉE. — *Cours de Médecine du Travail.*

DERVILLEE, ANICOT, L'EPEE. — La pathologie professionnelle dans l'Industrie du Froid (communication faite à la Société de Médecine du Travail de Bordeaux et de sa région, 7 décembre 1948).

6 DUVOIR-DEROBERT-LESIRE. — La dermatose prurigineuse de la laine de verre (*Annales de dermatologie et de syphiligraphie,* n° 11-12, nov. 1943).

7 FABRE et ROUGIER. — Sur deux cas d'intoxication par le chlorure de méthyle (Société de Médecine du Travail de Bordeaux et de sa région. Séance du

4 novembre 1947. *Archives des maladies professionnelles,* n° 4, 1948, p. 324).

8 Fabre. — Le chlorure de méthyle au point de vue toxicologique.

9 Hedon. — *Précis de Physiologie.*

10 Launoy. — *Eléments de physiologie humaine.*

11 Monti. — Note sur l'intoxication par le fréon. Communication au 24e Congrès de Médecine légale à Lausanne, 21-21 mai 1948 (*Archives des maladies professionnelles,* Paris, 1948. Tome 9, n° 4, pp. 356, 357).

12 Monsoisin. — *La conservation par le froid des denrées périssables.*

13 Nuckols. — *The comparative life, fire and explosion hazards of common refrigerants.*

14 Rivet. — Le comportement de l'homme aux basses températures (*Presse Médicale,* 25 juin 1949).

15 Robert. — Expériences de pluie artificielle sur la région de Bordeaux, 25 et 27 août 1949, à bord d'un avion Halifax de la base de Mérignac.

16 Sigalas et Wangermez. — *Précis de Physique.*

17 Simonet. — *Le Froid.*

18 Simonin. — La « Clinique mortuaire » de Strasbourg. (*Annales de Méd. lég.,* 1948).

19 Simonin. — *Précis de Médecine du Travail.*

20 X... — Est-il dangereux de manipuler la fibre de verre ?

21 X... — L'Industrie du Froid en France (*Notes et Etudes documentaires*).

22 Zhendre. — Le container frigorifique « Pas'Mer ».

THESES

23 Claisse. — Danger des installations frigorifiques. Paris, 1946.

24 Lazarini. — Protection individuelle contre poussières, gaz et vapeurs industriels, Bordeaux, 1950.

25 Vautier. — De l'intoxication par le chlorure de méthyle employé comme agent réfrigérant. Paris, 1940.

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION. 9

HISTORIQUE. 11

Première partie. — LE FROID ARTIFICIEL 13

A. — Applications 14

Industrie. 14

Médecine 15

Agriculture. 17

Alimentation 18

Glace. 22

B. — Technique 27

Procédés de fabrication du froid 27

Conservation du froid 37

Transports frigorifiques 39

C. — Degré d'extension de l'Industrie du Froid 41

Deuxième partie. — LE PROBLEME MEDICAL DANS L'INDUSTRIE DU FROID. 43

A. — Physiologie 44

Action du froid sur l'individu 44

Action des gaz toxiques 48
Action de l'électricité 52
B. — Pathologie professionnelle 53
Pathologie due au froid 53
Pathologie engendrée par les gaz toxiques.. 55
Pathologie provoquée par les dangers divers 62
C. — Prévention 65
Travailleurs exposés au froid 65
Travailleurs exposés aux gaz toxiques 69
Travailleurs exposés à divers dangers 74
Conclusions. 77
Bibliographie 81